



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PERHITUNGAN TEORITIK MOTOR 4 LANGKAH 1
SILINDER DIOPERASIKAN DENGAN LPG**

**RUSO MAHESA
NRP. 2113 030 025**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.
NIP. 19610602 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - TM 145502

**THEORETICAL CALCULATION OF MOTOR 4 STEP 1
CYLINDER OPERATED WITH LPG**

**RUSO MAHESA
NRP. 2113 030 025**

**Conselor lecture :
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.
NIP. 19610602 198701 1 001**

**Industrial engineering machinery department
Vocational faculty
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

PERHITUNGAN TEORITIK MOTOR 4 LANGKAH 1 SILINDER DIOPERASIKAN DENGAN LPG

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Bidang Studi Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA

Oleh :

Ruso Mahesa

NRP. 2113 030 025

Mengetahui dan Menyetujui :
~~Dosen Pembimbing~~



Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.

NIP. 19610602 198701 1 001

SURABAYA

JULI 2017

PERHITUNGAN TEORITIK MOTOR 4 LANGKAH 1 SILINDER DIOPERASIKAN DENGAN LPG

Nama Mahasiswa : Ruso Mahesa
NRP : 2113 030 025
Jurusan : Departemen Teknik Mesin Industri
Dosen Pembimbing : Ir. Joko Sarsetyanto, MT

Abstrak

Semakin menipisnya cadangan minyak dunia maka kebutuhan akan pengganti bahan bakar konvensional itu juga semakin meningkat. Dan juga semakin dituntutnya produsen penghasil bahan bakar untuk menekan kualitas dari produknya agar semakin efisien dan ramah lingkungan. Maka suatu solusi alternatif adalah menggunakan bahan bakar LPG (Liquid Petroleum Gas)

Agar dapat menggunakan bahan bakar LPG, motor bensin harus dimodifikasi. Dengan jalan menambahkan mixer venturi. Dari penelitian sebelumnya mixer yang sesuai adalah mixer venturi. Mixer venturi sebagai mekanisme pencampuran antara udara dan bahan bakar yang diletakkan diantara intake manifold dan karbulator, untuk masuk ke dalam silinder.

Dari hasil perhitungan teoritis didapat data bahwa Bahan bakar LPG secara teoritis dengan rpm 3000 memiliki nilai unjuk kerja untuk daya motor sebesar 5299.25 J/S, Bmep sebesar 2119,7 KPa, Torsi sebesar 16,876 Nm, BSFC sebesar 0,000306 kg/Wh. Sedangkan bahan bakar LPG secara actual dengan rpm 3000 memiliki nilai unjuk kerja terbaik dengan daya motor 1062.5 j/s, Bmep dengan nilai sebesar 425 KPa, torsi dengan nilai sebesar 3.35 Nm, dan bsfc sebesar 0.0026 kg/wh.

Kata kunci : unjuk kerja, mixer venturi, LPG.

THEORETICAL CALCULATION MOTOR 4 STEP 1 CYLINDER OPERATED WITH LPG

Student Name : Ruso Mahesa
NRP : 2113 030 025
Department : Mechanical Engineering
Industry
Counselor Lecturer : Ir. Joko Sarsetyanto, MT

Abstract

The depletion of world oil reserves, the need for replacement of conventional fuels is also increasing. And also getting sued manufacturers producing fuel to push the quality of its products to be more efficient and environmentally friendly. So one solution is to use fuel alternatives LPG (Liquid Petroleum Gas).

In order to use LPG fuel, the gasoline engine to be modified. By adding a venturi mixer. From previous studies appropriate mixer is a venturi mixer. Venturi mixer as a mechanism of mixing between air and fuel is placed between the intake manifold and carburetor, to enter into the cylinder.

The result of theoretical calculation at 3000 rpm are : generate power 5299.25 J/S, Bmep 2119,7 KPa, torque 16,876 Nm, BSFC 0,000306 kg/Wh. While the result experiment at 3000 rpm are : generate power 1062.5 j/s, Bmep 425 KPa, torque 3.35 Nm, and BSFC 0.0026 kg/wh.

Keyword : performance, ventury mixer, LPG fuel.

KATA PENGANTAR

Segala pujian dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan YME atas segala berkat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Dalam terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yakni:

1. **Bapak Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.,** selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan dan ilmu mengenai motor pembakaran dalam yang terkait dengan tugas akhir.
2. **Bapak Ir. Heru Mirmanto, MT., Dr.** selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS.
3. **Bapak Ir. Suhariyanto, MSc.** selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS..
4. **Para Dosen Penguji** selaku dosen yang memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
5. **Ayah, Ibu, Kakak** yang selalu memberikan dukungan penuh baik secara moril maupun materil. Tanpa do'a dan motivasi, penulis tidak bisa menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
6. **Seluruh Dosen dan Karyawan** yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di Departemen Teknik Mesin Industri.
7. **Regina Ayu Suharsono** yang selalu memberi saya motivasi dan semangat untuk mengerjakan Tugas Akhir.
8. **Anugra Jessa Menggolo & Angga Adi Wibowo** atas kerja samanya dalam mengerjakan dan menjadi partner yang baik dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. **Gilang Armada , Mas Spto Wisasno, Moch.Yusuf A, Javiero IW, Nuril Fuad, Rangga Jayadi, Egie Ardiyono**

yang telah membantu memberikan ide-ide dan membantu dalam praktikum percobaan dan perhitungan.

10. **Seluruh teman-teman angkatan 2013** yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis. Terimakasih atas segala kritik dan saran serta motivasi yang telah kalian berikan.

11. Semua pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan do'a, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii

BAB I

PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.5 Metode Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4

BAB II

DASAR TEORI	6
2.1. Motor Bensin Empat Langkah (4 tak)	6
2.1.1 Prinsip Kerja.....	6
2.1.2 Konstruksi.....	10
2.2. Siklus Aktul Motor Bensin 4 Langkah	16
2.2.1 Langkah Hisap.....	18
2.2.2 Langkah Kompresi.....	18
2.2.3 Langkah Ekspansi.....	18
2.2.4 Langkah Buang.....	18
2.3. Bahan Bakar	18
2.3.1 Bahan Bakar LPG	18
2.4. Proses Pembakaran	20
2.4.1 Perbandingan Udara-Bahan Bakar.....	20
2.2.2 Pembakaran Dalam SIE.....	21
2.5. Komponen	22
2.5.1. Mixer Venturi	22

2.5.2 Pengukuran Tekanan Bahan Bakar Gas.....	23
2.2.2 Pengukuran Laju Bahan Bakar Gas.....	23
2.6. Unjuk Kerja (Performa Mesin).....	26
2.6.1 Daya	26
2.6.2 Torsi	28
2.6.3 Tekanan Efktif Rata – Rata (bmep).....	28
2.6.4 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (BSFC)	29
2.6.5 Efisiensi Termis.....	30
2.7 Unjuk Kerja Teoritis.....	30
2.7.1 Reaksi pembakaran dengan Cara Stikiometri	30
2.7.2 Menghitung Laju Udara Secara Teoritis.....	31
2.7.3 Menghitung Laju Bahan Bakar.....	31
2.8 Perencanaan Diameter Nozzle Ventury Mixture.....	31
2.8.1 Persamaan Bernoulli	31
2.8.2 Luasan Nozzle	32
2.8.3 Diameter Nozzle	33

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1. Penelitian	34
3.2. Tempat Penelitian	34
3.3. Instalasi Percobaan	34
3.4. Peralatan Percobaan	35
3.5. Bahan Bakar Uji	41
3.6 Prosedur Pengujian.....	41
3.7 Sistem Penelitian	44
3.8 Diagram Alir Pengujian.....	46
3.8.1 Diagram Alir Pengujian Dengan LPG.....	46
3.8.2 Diagram Alir perhitungan teoritis	47
3.8.3 Diagram Alir Perencanaan diameter nozzle ventury mixture	48

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	49
4.1. Data Hasil Penelitian	49
4.2. Perhitungan	49
4.3. Analisa Hasil Pengujian Genst Menggunakan Bahan Bakar gas LPG	50

4.3.1. Data Hasil Pengukuran Unjuk Kerja Genset Menggunakan Bahan Bakar Gas LPG..	50
4.3.2. Perhitungan Laju aliran Massa Bahan Bakar Gas LPG (ṁ).....	51
4.3.3. Data Hasil Perhitungan Laju aliran Massa Bahan Bakar Gas LPG (ṁ).....	57
4.3.4. Perhitungan Data Hasil Pengukuran Kinerja Genset Mesin.....	57
4.3.5. Data Hasil Perhitungan Kinerja Genset Menggunakan Bahan Bakar gas LPG..	62
4.4 Menghitung AFR dari Mesin Genset 100cc dengan Exess Air sebesar 10% dan Kinerja Mesin Genset Secara Teoritis..	63
4.5 Peritungan Diameter Nozzle Ventury Mixture.....	68

BAB V

PENUTUP 71

5.1. Kesimpulan 71

5.2. Saran 71

DAFTAR PUSTAKA

BIODATA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Siklus 4 langkah.....	7
Gambar 2.2 Diagram P-V.....	8
Gambar 2.3 Konstruksi Mesin Bensin Empat Langkah...	10
Gambar 2.4 Piston.....	11
Gambar 2.5 Mekanisme Katup.....	12
Gambar 2.6 Bagian-Bagian Karburator.....	13
Gambar 2.7 Busi.....	16
Gambar 2.8 Diagram P – V Siklus Aktual.....	17
Gambar 2.9 Siklus Aktual 2 Langkah dan 4 Langkah....	17
Gambar 2.10 <i>Air Fuel Ratio</i>	21
Gambar 2.11 Diagram P-V Teoritis.....	21
Gambar 2.12 Alat Ukur BBG Notasi pada Regulator....	23
Gambar 2.13 Alat Ukur Laju BBG – Pitot Flow meter...	24
Gambar 3.1 Skema Instalasi Percobaan LPG.....	34
Gambar 3.2 Instalasi Percobaan.....	32
Gambar 3.3 Generator Set Vorex V 1500.....	36
Gambar 3.4 Lampu Beban.....	37
Gambar 3.5 Tachometer.....	37
Gambar 3.6 Pitot Flow meter.....	38
Gambar 3.7 Manual Valve.....	38
Gambar 3.8 Volt meter.....	39
Gambar 3.9 Ampere meter.....	39
Gambar 3.10 <i>Presseure Regulator Manual</i>	40
Gambar 3.11 Modifikasi <i>mixer ventury</i>	40
Gambar 3.12 Diagram Alir Pengujian.....	46
Gambar 3.13 Diagram Alir perhitungan teoritis.....	47

Gambar 3.14 Diagram Alir perencanaan diameter nozzle mixture.....	48
--	----

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi dan Jenis Modifikasi mixer.....	41
Tabel 3.2	Nilai massa jenis bahan bakar uji.....	41
Tabel 4.1	Data pengukuran pada penggunaan gas LPG dengan konstan speed 3000 rpm.....	50
Tabel 4.2	Laju aliran massa bahan bakar gas LPG dengan variasi putaran konstan speed 3000 rpm.....	57
Tabel 4.3	Data perhitungan unjuk kerja gas LPG dengan konstan speed 3000 rpm.....	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan salah satu sumber energi yang sangat populer dalam hal sumber bahan bakar yang dikarenakan tingkat kegunaannya yang cukup tinggi, namun bahan bakar yang diperoleh dari minyak fosil ini juga membawa dampak buruk yang tidak sedikit bagi lingkungan sekitar. Dikarenakan masalah itu, pada saat ini masyarakat global tengah meyerukan dampak yang berbahaya ke lingkungan dari bahan bakar ini. Tak sedikit pula masyarakat yang berlomba-lomba mencari pengganti dari bahan bakar ini, yang lebih ramah lingkungan dan bersifat *renewable* atau terbarukan. Salah satu bahan bakar pengganti tersebut ialah LPG (*Liquid Petroleum Gas*) yang merupakan bahan bakar yang berasal dari gas bumi dimana dapat diketahui di Indonesia cadangan gas bumi cukup melimpah

Sebagai upaya langkah untuk meningkatkan penggunaan bahan bakar LPG adalah dengan pengembangan teknologi mesin konversi energi, misalnya melalui kajian modifikasi suatu mesin stasioner sebagai pembangkit daya. Dalam pengoptimalan sumber daya terbarukan ini, penggunaan energi bahan bakar gas LPG (*Liquid Petroleum Gas*) pada motor bakar dirasa masih kurang dan belum dapat digunakan secara merata. Umumnya motor bakar seperti mesin genset masih banyak menggunakan bahan bakar minyak (BBM), yakni menggunakan bahan bakar bensin. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai mesin genset yang berbahan bakar bensin untuk dimodifikasi menggunakan bahan bakar LPG

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas mengenai modifikasi genset motor bensin empat langkah menjadi genset dengan bahan bakar LPG. Untuk mengubah motor bensin ke motor bahan bakar LPG diperlukan beberapa perubahan.

Penambahan komponen yang di butuh kan adalah mixer ventury. Mixer venturi sebagai mekanisme pencampuran antara udara dan bahan bakar yang diletakkan diantara intake manifold dan karbulator, untuk masuk ke dalam silinder

Dalam penelitian berikutnya ini dilakukan perhitungan pada nilai-nilai yang menjadi parameter unjuk kerja generator motor seperti efficiency, fuel consumption dan flow rate dari mesin. Metode pengujian menggunakan uji konstan speed terhadap performa genset mesin empat langkah menggunakan bahan bakar gas LPG, serta melakukan pengembangan dalam hal mekanisme pemasukan dan pencampuran antara udara dan gas dengan penambahan *mixer ventury*.

Pada tugas akhir ini akan dibahas perhitungan teoritis unjuk kerja antara genset mesin bensin empat langkah satu silinder menggunakan bahan bakar gas LPG, serta analisis terhadap Brake Horse Power yang dihasilkan.

1.2 Permasalahan

Dari uraian diatas, permasalahan yang muncul pada penelitian ini adalah :

Bagaimana kinerja mesin genset jika akan di operasikan dengan bahan bakar LPG.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui unjuk kerja genset motor bakar empat langkah jika akan di operasikan dengan bahan bakar LPG.

1.4 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Pengujian dan perhitungan dilakukan pada genset motor bensin 4 langkah 1 silinder merk Vorex seri V1500 1000 watt, volume silinder 100 CC menggunakan karburator sebagai penyalur pasokan udara dan mixer venturi sebagai alat percampuran bahan bakar LPG dengan udara. Bahan bakar gas lpg yang digunakan adalah gas LPG 3 kg yang diproduksi Pertamina
2. Kondisi temperatur udara sekitar dianggap ideal
3. Efisiensi teoritis dianggap 25 %
4. Rpm pada perhitungan teoritis adalah 3000
5. Excess air dari LPG 10 %
6. Mixer venturi tidak diuji secara khusus, tapi diuji secara langsung pada genset.
7. Data diambil pada beban berupa lampu, @ lampu = 100 Watt.
8. Tidak melakukan analisa pelumasan.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumbangan bagi ilmu pengetahuan serta dapat memberi informasi dan inspirasi kepada masyarakat umum tentang bahan gas LPG pada mesin genset ditinjau dari parameter unjuk kerjanya.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan penelitian dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur

Dasar-dasar pengetahuan mengenai tema dari tugas akhir ini, dilakukan dengan observasi, konsultasi dengan beberapa dosen D3 Teknik Mesin FTI-ITS, dan mencari referensi pada buku, makalah, jurnal-jurnal yang berhubungan dengan unjuk kerja mesin bahan bakar gas

LPG dengan tujuan mendapatkan acuan untuk analisa dan perhitungan teoritis.

2. Studi Laboratorium
Melakukan pengujian di Laboratorium Motor Bakar Workshop D3 Teknik Mesin FTI-ITS dengan peralatan mesin dan alat ukur yang telah tersedia untuk mendapatkan data-data yang diperlukan
3. Analisa Data
Data-data ini hasil studi literatur dianalisis dengan tujuan mengetahui penggunaan bahan bakar gas LPG terhadap parameter unjuk kerja mesin genset empat langkah.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika penulisan yang bersifat umum adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini akan membahas mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi teori-teori yang menunjang pelaksanaan penelitian, perhitungan dan pemecahan masalah yang berguna untuk analisa data yang telah diperoleh.

BAB III METODOLOGI

Bab ini menjelaskan metodologi dan diagram alir dari pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian serta alat-alat yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengujian.

BAB IV PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana unjuk kerja dan pengaruh pemakaian bahan bakar gas LPG pada mesin genset empat langkah secara teoritis. Dalam tahap ini juga dilakukan analisa berdasarkan data-data hasil studi literatur yang meliputi :

- a. Putaran mesin
- b. Tegangan arus listrik
- c. Laju massa bahan bakar gas
- d. Stokiometri dari gas LPG.
- e. AFR dari gas lpg secara teoritis.
- f. Laju bahan bakar LPG secara teoritis.

BAB V KESIMPULAN

Bab Kesimpulan menyatakan pernyataan akhir dari uraian dan penjelasan pada bab-bab sebelumnya

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Motor Bensin Empat Langkah (4 Tak)

Motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) adalah mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanis dan prosesnya terjadi di dalam suatu ruang bakar yang tertutup. Energi kimia dalam bahan bakar terlebih dahulu diubah menjadi energi termal melalui proses pembakaran. Energi termal yang diproduksi akan menaikkan tekanan yang kemudian menggerakkan mekanisme mesin. Dalam proses pembakaran tersebut, bagian-bagian motor melakukan gerakan berulang yang dinamakan siklus. Setiap siklus yang terjadi dalam mesin terdiri dari beberapa urutan langkah kerja.

Siklus kerja motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi motor 2 langkah dan motor 4 langkah. Berdasarkan pembatasan masalah, peralatan uji yang digunakan adalah motor Otto berbahan bakar bensin (*spark ignition engine*) dengan sistem 4 langkah. Motor Otto merupakan motor pembakaran dalam karena motor Otto melakukan proses pembakaran gas dan udara di dalam silinder untuk melakukan kerja mekanis.

2.1.1 Prinsip Kerja

Motor empat langkah merupakan mesin dengan siklus kerja yang terdiri dari langkah isap, kompresi, ekspansi, dan buang. Masing-masing membutuhkan 180° pada putaran *crankshaft* sehingga dalam satu siklus membutuhkan 720° .

Beberapa kejadian berikut, membentuk siklus dalam motor bensin :

1. Mengisi silinder mesin dengan udara.

2. Penekanan isi udara yang menaikkan tekanan dan suhu sehingga kalau bahan bakar diinjeksikan, akan segera menyala dan terbakar secara efisien.
3. Pembakaran bahan bakar dan pengembangan gas panas.
4. Mengosongkan hasil pembakaran dari silinder.

Keempat kejadian ini terjadi berulang-ulang pada waktu mesin menyala. Jika masing-masing dari keempat kejadian ini memerlukan langkah torak yang terpisah, maka daurnya disebut daur empat langkah. Empat kejadian utama ditunjukkan secara skematis pada gambar.



(a) Langkah Hisap



(b) Langkah Kompresi



(c) Langkah Kerja

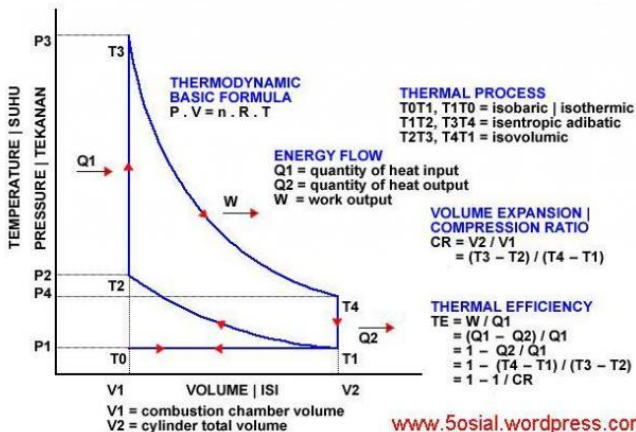


d langkah buang

Gambar 2.1. Siklus 4 langkah
(Sumber: <http://www.wikipedia.com>)

Keterangan:

- | | |
|------------------|------------------|
| 1. Saluran hisap | 5. Roda gila |
| 2. Busi | 6. Poros engkol |
| 3. Silinder | 7. Saluran buang |
| 4. Piston | |



Gambar 2.2. Diagram P vs v dari siklus ideal mesin bensin 4 langkah (www.5osial.wordpress.com)

Proses (0-1): Langkah Hisap

Pada langkah hisap posisi katup hisap dalam keadaan terbuka, katup buang dalam keadaan menutup serta torak bergerak dari TMA (titik mati atas) menuju ke TMB (titik mati bawah). Akibatnya terjadi kevakuman di dalam silinder yang menyebabkan terisapnya campuran udara dan bahan bakar masuk ke dalam silinder.

Proses (1-2): Langkah Kompresi Isentropik

Setelah bahan bakar masuk ke dalam silinder torak masih bergerak dari TMA menuju ke TMB, katup hisap mulai menutup sehingga kedua katup dalam keadaan tertutup.

Dengan demikian campuran udara dan bahan bakar tersebut dikompresi oleh tekanan torak ketika torak bergerak dari TMB menuju TMA.

Proses (2-3): Proses Pembakaran Pada Volume Konstan

Proses pembakaran terjadi sesaat sebelum torak mencapai TMA, busi memercikkan bunga api listrik pada ujung elektrodanya yang menyebabkan terbakarnya campuran udara dan bahan bakar. Akibat proses pembakaran, tekanan dan temperatur di ruang bakar naik lebih tinggi dan terjadi ledakan. Sesudah torak mencapai TMA energi yang dihasilkan segera diekspansikan oleh torak.

Proses (3-4): Langkah Ekspansi Isentropik

Ledakan yang terjadi di dalam silinder mengakibatkan tekanan meningkat dan mendorong torak menuju TMB. Pada langkah ini posisi katup hisap dan katup buang masih dalam keadaan tertutup. Selama proses ekspansi ini tekanan dan temperatur mulai turun sedikit demi sedikit dan berlangsung proses isentropik.

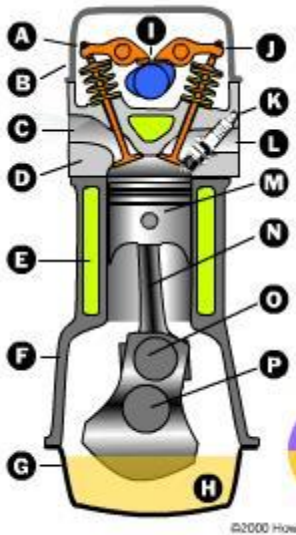
Proses (4-1): Proses Pembuangan Pada Volume Konstan

Proses pembuangan sejumlah gas pembakaran terjadi pada saat torak mencapai TMB. Pada langkah ini, posisi katup buang terbuka dan katup hisap tertutup. Pada proses ini berlangsung pada volume konstan.

Proses (1-0): Langkah Buang

Pada langkah buang posisi katup isap dalam keadaan menutup dan katup buang dalam keadaan terbuka sehingga gas bekas keluar dengan sendirinya. Torak bergerak dari TMB menuju ke TMA, mendorong gas sisa pembakaran yang selanjutnya keluar menuju saluran keluar (exhaust manifold).

2.1.2 Konstruksi



Gambar 2.3. Konstruksi mesin bensin empat langkah
(www.howstuffworks.com)

Keterangan :

- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| A. Mekanisme intake valve | I. Camshaft |
| B. Cover valve | J. Mekanisme exhaust valve |
| C. Saluran intake | K. Busi |
| D. Cylinder head | L. Saluran Exhaust |
| E. Saluran pendingin | M. Piston (Torak) |
| F. Blok engine | N. Batang Penghubung |
| G. Bak oli | O. Bearing Crankshaft |
| H. Penghisap oli | P. Crankshaft |

Beberapa komponen-komponen dalam mesin motor bensin 4 tak adalah:

1. Torak (*Piston*)

Torak merupakan bagian mesin yang bersinggungan langsung dengan gas bertekanan dan bertemperatur tinggi, torak bergerak translasi dengan kecepatan tinggi. Torak pada mesin bensin empat tak dilengkapi dengan tiga ring torak. Ring pada bagian atas berfungsi agar gas pembakaran yang bertekanan tinggi tidak masuk kedalam ruang engkol (*crankcase*). Ring bagian bawah berfungsi sebagai pengontrol oli yang menempel pada dinding silinder.

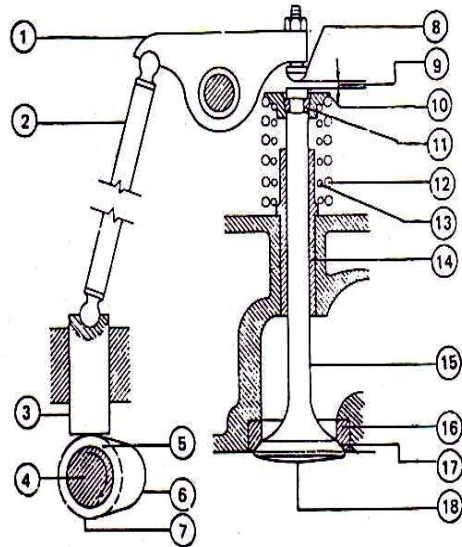


Gambar 2.4. piston

2. Katup (*Valve*)

Untuk mesin empat langkah pemasukan bahan bakar dan pembuangan gas sisa pembakaran dilakukan melalui katup masuk dan katup buang. Terbuka dan tertutupnya kedua katup tersebut diatur oleh perputaran poros kam atau poros hubungan. Untuk membedakan antara katup hisap dan katup buang dapat dilihat dari diameter katup. Diameter katup hisap lebih besar daripada katup buang. Ukuran katup hisap ini berfungsi untuk

memperbanyak jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar. Pembukaan dan penutupan katup diatur melalui mekanisme yang ditunjukkan gambar dibawah ini.



Gambar 2.5. Mekanisme katup
(Arismunandar, 2002:12)

Keterangan:

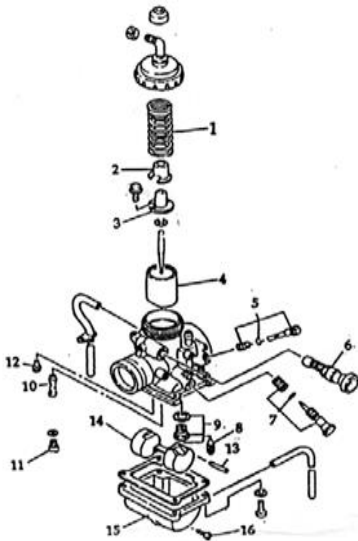
- | | |
|--------------------|----------------------|
| 1. Tuas | 8. Batang penekan |
| 2. Batang penekan | 9. Jarak bebas katup |
| 3. Pengikut kam | 10. Penahan pegas |
| (<i>tapet</i>) | 11. Pemegangan |
| 4. Poros bubungan | 12. Pegas luar |
| 5. Bubungan | 13. Pegas dalam |
| 6. Ujung bubungan | 14. Jalan katup |
| 7. Lingkaran dasar | 15. Batang katup |
| bubungan | 16. Dudukan katup |

17. Bidang rapat katup

18. Kepala katup

3. Karburator

Karburator berfungsi memasukkan campuran udara-bahan bakar kedalam ruang bakar dalam bentuk kabut dan mencampur dengan perbandingan yang tepat pada setiap tingkatan putaran mesin.



Gambar 2.6. Bagian bagian karburator

Keterangan:

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1. Pegas katup gas | 8. Katup Jarum |
| 2. Stoper kabel gas | 9. Dudukan katup Jarum |
| 3. Dudukan jarum skep | 10. Needle jet |
| 4. Katup gas | 11. Main jet |
| 5. Baut pengatur udara | 12. Pilot jet |
| 6. Plunger starter | 13. Pen pelampung |
| 7. Baut pengatur gas | 14. Pelampung |

15. Tutup ruang pelampung

16. Bautpenguras

Fungsi bagian karburator :

a. Katup gas

Mengatur jumlah campuran bensin dengan udara yang akan dimasukkan kedalam ruang bakar. Bentuk lekukan pada bagian bawah katup gas yang mengarah pada lubang pemasukan udara saat posisi menutup akan berfungsi sebagai penutup saluran udara.

b. Needle Jet

Berfungsi untuk mengatur jumlah campuran bensin dengan udara yang mengalir melalui saluran penyiram dari $\frac{1}{4}$ sampai dengan $\frac{3}{4}$ pembukaan katup.

c. Pilot jet

Untuk mengatur jumlah bahan bakar yang digunakan pada waktu putaran rendah.

d. Main Jet

Untuk mengatur jumlah bahan bakar yang digunakan pada waktu putaran tinggi.

e. Ruang pelampung

Sebagai tempat menampung sementara bahan bakar yang akan dialirkan ke ruang bakar.

f. Pelampung

Untuk mempertahankan tinggi permukaan bahan bakar didalam ruang pelampung agar selalu tepat.

g. Sekrup penyetel udara

Untuk mengatur jumlah udara yang akan bercampur dengan bensin.

h. Sekrup penyetel gas

Untuk mengatur posisi pembukaan katup pada kedudukan terendah untuk menentukan putaran stasioner.

i. Choke

Choke pada dasarnya untuk memberikan supply bahan bakar dengan jalur khusus. Sistem supply bahan bakar dengan karburator biasanya mengandalkan daya hisap mesin untuk menarik bahan bakar. Oleh karena itu, saat karburator tidak bekerja dengan baik, misal pelampung terlalu rendah, maka bahan bakar di karburator perlu diisi dulu dengan mengandalkan daya hisap piston. Hal ini menyebabkan pengisian bahan bakar di ruang bakar menjadi lebih lama. Untuk sedikit memberi kemudahan, maka digunakan choke untuk memberikan bensin berlebih ke silinder sehingga mesin dapat bekerja lebih awal.

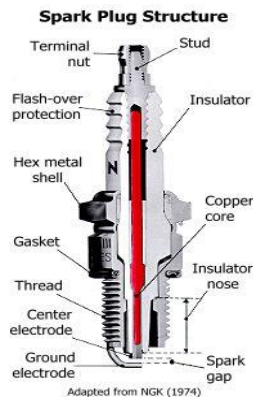
4. Busi

adalah suatu suku cadang yang dipasang pada mesin pembakaran dalam dengan ujung elektroda pada ruang bakar. Busi dipasang untuk membakar bensin yang telah dikompres oleh piston. Percikan busi berupa percikan elektrik. Pada bagian tengah busi terdapat elektroda yang dihubungkan dengan kabel ke koil pengapian (*ignition coil*) di luar busi, dan dengan ground pada bagian bawah busi, membentuk suatu celah percikan di dalam silinder. Busi tersambung ke tegangan yang besarnya ribuan Volt yang dihasilkan oleh koil pengapian (*ignition coil*). Tegangan listrik dari koil pengapian menghasilkan beda tegangan antara elektroda di bagian tengah busi dengan yang di bagian samping. Arus tidak dapat mengalir karena bensin dan udara yang ada di celah merupakan isolator, namun semakin besar beda tegangan, struktur gas di antara kedua elektroda tersebut berubah. Pada saat tegangan melebihi kekuatan dielektrik daripada gas yang ada, gas-gas tersebut mengalami

proses ionisasi dan yang tadinya bersifat insulator, berubah menjadi konduktor. Setelah itu terjadi arus elektron dapat mengakibatkan suhu di celah percikan busi naik drastis, sampai 60.000 K. Suhu yang sangat tinggi ini membuat gas yang terionisasi untuk memuai dengan cepat dan menjadi ledakan.

Rata-rata panas yang dihasilkan ditentukan oleh :

- a. Panjang hidung insulator
- b. Volume gas disekitar hidung insulator
- c. Material dan konstruksi dari pusat elektrode dan porselin insulator.



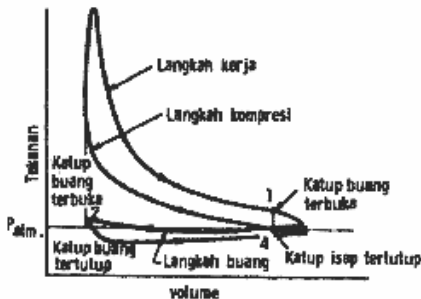
Gambar 2.7. Busi

Sekarang sebagai fungsi aktualnya sebagai pemicu pembakaran yang mengirim percikan bunga api melalui rotor, menuju cap, turun pada kawat dan kemudian percikan tersebut melompat pada celah busi. Inti dari busi diciptakan untuk membakar campuran udara–bahan bakar pada ruang bakar. Waktu yang tepat pada percikan ini tidak hanya terpusat pada gambaran

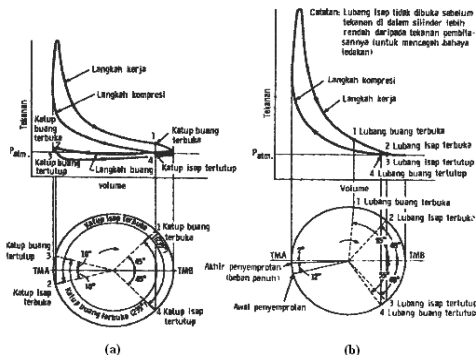
diatas tetapi kita harus mempunyai *heat range* dan gap yang benar.

2.2 Siklus Aktual Motor Bensin 4 langkah

Dalam siklus ideal masing-masing langkah dimulai dan di akhiri tepat di titik matinya (TMA & TMB), ini berarti tiap satu langkah ekivalen dengan setengah poros engkol (180° sudut engkol). Dalam siklus actual permulaan maupun akhir tiap langkah bukan pada titik matinya.



Gambar 2.8. Diagram P-V Siklus Actual



Gambar 2.9. Siklus Actual 2 langkah dan 4 langkah (Arismunandar, 2002:12)

2.2.1 Langkah Hisap

Pembukaan katup hisap pada langkah hisap dimulai sekitar 10 derajat sudut engkol sebelum piston mencapai TMA sehingga tepat ketika piston memulai langkah hisap katup masuk sudah terbuka penuh. Sedangkan penutupan dilakukan setelah piston melewati TMB.

2.2.2 Langkah Kompresi

Langkah kompresi dimulai ketika TMB sampai piston mencapai TMA, namun kenaikan tekanan maksimum dicapai setelah melewati TMA.

2.2.3 Langkah Ekspansi

Proses pemanfaatan tenaga gas yang berlangsung pada langkah ekspansi ini dalam kenyataan lebih pendek dari idealnya, karena sudah harus berakhir sebelum piston mencapai TMB.

2.2.4 Langkah Pembuangan

Dalam kenyataan proses pembuangan gas hasil pembakaran berlangsung dalam dua periode. Periode pertama dimulai ketika piston masih melakukan kerja ekspansi tetapi katub buang sudah mulai dibuka, keluarnya gas pada periode ini disebabkan tekanan gas didalam silinder diakhir langkah kerja masih lebih tinggi dari tekanan diluar silinder, periode ini disebut proses blow down.

Periode kedua dilakukan dengan dorongan piston yang dimulai dari TMB sampai beberapa derajat sesudah piston melewati TMA.

2.3 Bahan Bakar

2.3.1 Bahan Bakar LPG

LPG atau *Liquefied Petroleum Gas* dengan merk dagang ELPIJI merupakan gas cair yang ditabungkan hasil produksi dari kilang minyak dan kilang gas, yang berasal dari gas alam sebagai

hasil penyulingan minyak mentah, berbentuk gas. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas kemudian berubah menjadi cair. LPG terdiri dari campuran berbagai unsur hidrokarbon, komponennya didominasi propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) lebih kurang 99 %. Elpiji juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}).

Dalam kondisi atmosfer, elpiji akan berbentuk gas. Volume elpiji dalam bentuk cair lebih kecil dibandingkan dalam bentuk gas untuk berat yang sama. Karena itu elpiji dipasarkan dalam bentuk cair dalam tabung-tabung logam bertekanan. Untuk memungkinkan terjadinya ekspansi panas (*thermal expansion*) dari cairan yang dikandungnya, tabung elpiji tidak diisi secara penuh, hanya sekitar 80-85% dari kapasitasnya.

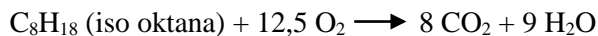
Secara umum gas ELPIJI bersifat :

1. Berat jenis gas ELPIJI lebih besar dari udara, yaitu :
 - Butana mempunyai berat jenis dua kali berat jenis udara.
 - Propana mempunyai berat jenis satu setengah kali berat udara.
2. Tidak mempunyai sifat pelumasan terhadap metal.
3. Merupakan Solvent yang baik terhadap karet, sehingga perlu diperhatikan terhadap kemasan atau tabung yang di pakai.
4. Tidak berwarna baik berupa cairan maupun dalam bentuk gas.
5. Tidak berbau. Sehingga untuk keselamatan, ELPIJI komersial perlu ditambah zat odor, yaitu Ethyl Mercaptane yang berbau menyengat seperti petai.
6. Tidak mengandung racun.
7. Bila menguap di udara bebas akan membentuk lapisan karena kondensasi sehingga adanya aliran gas.
8. Setiap kilogram ELPIJI cair dapat berubah menjadi kurang lebih 500 liter gas ELPIJI

2.4 Proses Pembakaran

Proses pembakaran adalah terbakarnya kombinasi kimia antara hidrogen dan karbon pada bahan bakar dengan oksigen dalam udara dengan waktu yang relatif singkat dan menghasilkan energi dalam bentuk panas. Pembakaran dalam *Spark Ignition Engine* (SIE) dimulai oleh adanya percikan bunga api listrik yang ditimbulkan oleh busi yang kemudian membakar campuran udara–bahan bakar yang mudah terbakar yang disuplai dan dicampur oleh karburator maupun injektor sehingga terjadi ledakan yang sangat hebat dalam ruang bakar pada motor tersebut.

Persamaan kimia untuk pembakaran bahan bakar dalam SIE :

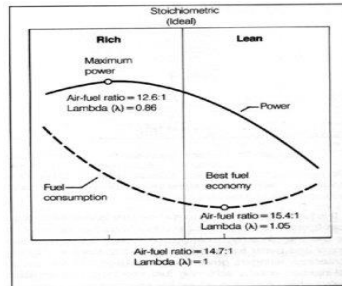


Kombinasi yang diperlukan untuk pembakaran adalah sebagai berikut :

- Adanya campuran udara-bahan bakar yang dapat terbakar. Pada mesin bensin, pencampuran udara-bahan bakar terjadi pada karburator.
- Pembakaran pada mesin bensin terjadi karena adanya pengapian dari loncatan bunga api listrik pada kedua elektroda busi.
- Stabilisasi dan penyebaran api dalam ruang bakar.

2.4.1 Perbandingan Udara-Bahan Bakar

Didalam pembakaran, terjadi dalam batasan perbandingan udara-bahan bakar tertentu, yang disebut "*Ignition Limits*". Campuran yang kelebihan bahan bakar dinamakan campuran kaya dan campuran yang kelebihan oksigen dinamakan campuran miskin. Campuran yang mendekati homogen dari bahan bakar dan udara dipersiapkan oleh karburator. Bila campurannya lebih kaya atau lebih miskin, maka berkuranglah nilai untuk terbakar sendiri.

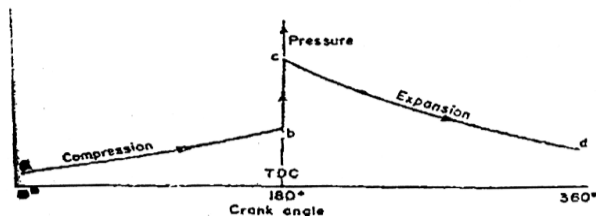


Gambar 2.10. Air Fuel Ratio

2.4.2 Pembakaran Dalam SIE

Ada tiga tahapan yang terjadi dalam proses pembakaran pada SIE (spark ignition engine) mulai dari awal sampai akhir pembakaran, yaitu:

Tahap I : *Ignition Lag* (fase persiapan) yaitu membesar dan berkembangnya inti api serta merambatnya inti api tersebut dalam campuran udara–bahan bakar terkompresi dalam ruang bakar. Proses ini merupakan proses kimia yang tergantung pada tekanan dan temperatur, koefisien temperatur bahan bakar yaitu hubungan temperatur dan laju percepatan oksidasi/pembakaran.



Gambar 2.11. Diagram P – V teoritis (Arismunandar, 2002:12)

Tahap II : *Propagation of Flame* yaitu dimana api mulai merambat dan menyebar ke seluruh ruang bakar. Proses mekanis banyak mempengaruhi proses ini.

Proses ini dianggap berjalan baik apabila api dengan cepat merambat sehingga tidak ada campuran bahan bakar yang tidak terbakar. Dengan begitu akan terjadi pembakaran yang sempurna. (B – C)

Tahap III : *After Burning*, setelah terjadi reasosiasi pada proses pembakaran maka berikutnya akan terjadi diasosiasi ada gas-gas hasil pembakaran. Setelah titik C

2.5.1 Mixer Venturi

Mixer venturi merupakan suatu konstruksi venturi yang diletakkan tepat sebelum karburator. Dari penelitian sebelumnya didapat bahwa mixer venturi merupakan mixer yang paling sesuai. Bila ada aliran udara melalui daerah venturi, maka tekanan menjadi turun (vakum). Semakin rendah tekanan maka bahan bakar gas akan terhisap dan mengalir semakin banyak.

Mixer venturi adalah alat pencampur yang berfungsi untuk mencampur bahan bakar gas dan udara bersih yang masuk. Pencampuran bahan bakar gas dan udara ini dalam perbandingan yang sesuai yang diisyaratkan oleh engine, sehingga pencampuran dengan ventury mixer dalam sistem bahan bakar gas mempunyai fungsi yang sama dengan karburator dalam sistem bahan bakar bensin.

Mixer dapat memiliki lebih dari satu ventury, jumlah bahan bakar gas yang masuk ke dalam mixer dapat ditentukan berdasarkan: jumlah lubang saluran masuk bahan bakar gas, diameter lubang saluran masuk bahan bakar gas, diameter dalam ventury, dan panjang mixer.

Perancangan *ventury mixer* berbeda-beda untuk setiap mesin, tergantung kepada daya engine, putaran engine, karakteristik regulator. Mixer dapat mempunyai satu atau lebih ventury. Untuk karburator dengan penampang saluran udara lingkaran, ventury yang digunakan cukup satu.

2.5.2 Pengukuran Tekanan Bahan Bakar Gas

Tekanan bahan bakar gas dapat diketahui dengan melihat tekanan gas LPG yang dihasilkan dari regulator LPG. Terlihat pada notasi tekanan gas regulator bahan bakar LPG yang dipakai tekanan berkisar $0 - 1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$.



Gambar 2.12. Notasi tekanan gas pada regulator gas LPG

Sehingga dari gambar di atas diperoleh persamaan :

$$P_{st} = \rho_f \cdot g \cdot H$$

Dimana :

P_{st} = Tekanan Statis (N/m^2)

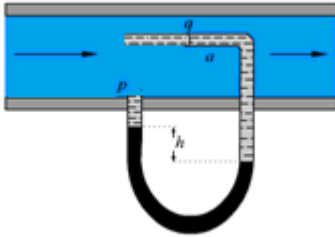
ρ_f = Massa Jenis Cairan (kg/m^3)

g = Gravitasi (m/s^2)

H = Perbedaan ketinggian yang terbaca (m)

2.5.3 Pengukuran Laju Bahan Bakar Gas

Laju bahan bakar gas dapat di ukur dengan menggunakan alat ukur bernama pitot tube. Dengan mengukur tekanan yang terjadi pada sisi muka dan belakang pitot flow meter akan diperoleh laju alirannya, seperti pada skema gambar sebagai berikut :



Gambar 2.13. Pitot tube

Berdasarkan gambar diatas maka laju aliran masa aktual dari bahan bakar gas LPG adalah :

Perhitungan laju aliran massa (\dot{m}) pada LPG

Persamaan Bernoulli

$$P - P_0 = \frac{1}{2} \rho v^2$$

$$\rho_{alat\ ukur} \times g \times h = \frac{1}{2} \times \rho_{lpg} \times v^2$$

$$V = \sqrt{\frac{2 (\rho_{alat\ ukur} \times g \times h)}{\rho_{lpg}}}$$

Mencari ρ_{lpg}

Diketahui tekanan pada regulator lpg = $0,3 \frac{kg}{cm^2}$

$$0,3 \frac{kg}{cm^2} = 0,29 \text{ atm} + 1 \text{ atm} = 1,29 \text{ atm}$$

$$1,29 \text{ atm} = 127486 \text{ Pa}$$

Persamaan gas ideal

$$P V = n R T$$

$$P V = R T$$

$$\text{Dimana, } V = 1 / \rho$$

Kecepatan rata2 (\bar{U})

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

Kecepatan rata-rata (\bar{U}) untuk aliran laminar

$$\bar{U} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi R^2} = -\frac{R^2}{8\mu} \left(\frac{\delta p}{\delta x} \right)$$

$$U = U_{max} = -\frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{\delta p}{\delta x} \right) = 2 \bar{U}$$

$$U = U_{max} = 2 \bar{U}$$

Maka,

$$\bar{U} = \frac{1}{2} U_{max}$$

Kecepatan rata-rata (\bar{U}) untuk aliran turbulент

$$\frac{\bar{U}}{V} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

Dimana :

$$n = -1,7 + 1,8 \log Re$$

Kapasitas laju aliran fluida gas LPG (Q)

$$Q = V \times A$$

Keterangan :

Q = Kapasitas laju aliran fluida gas LPG ($\frac{m}{s}$)

A = Luas penampang selang gas LPG (m²)

Mencari laju aliran massa gas LPG (\dot{m})

$$\dot{m} = Q \times \rho_{lpg} \dots \dots \dots 2.1$$

Keterangan :

Q = Kapasitas laju aliran fluida gas LPG ($\frac{m}{s}$)

ρ_{lpg} = Laju aliran massa gas LPG ($\frac{kg}{m^3}$)

2.6 Unjuk Kerja

2.6.1 Performance Mesin

Performance atau unjuk kerja suatu mesin sangat tergantung pada energi yang dihasilkan dari campuran bahan bakar yang diterima oleh mesin serta efisiensi termal dari mesin tersebut (kemampuan mesin untuk mengubah energi dari campuran bahan bakar menjadi kerja output dari mesin). Dari kondisi diatas menunjukkan ada dua metode umum untuk meningkatkan *performance* atau unjuk kerja dari suatu mesin, yaitu :

1. Meningkatkan energi input

Meningkatkan energi input dari bahan bakar ini dapat dilakukan dengan cara memperbesar pasokan bahan bakar dengan udara yang masuk kedalam ruang bakar, menggunakan bahan bakar yang mempunyai nilai kalor yang lebih tinggi atau dengan menambahkan zat aditif ke dalam bahan bakar sehingga proses pembakaran yang terjadi lebih sempurna.

2. Meningkatkan efisiensi *thermal* dari mesin (η_{th})

Efisiensi *thermal* dari mesin adalah perbandingan antara daya mesin yang dihasilkan dengan energi yang dibangkitkan dari campuran bahan bakar. Meningkatkan efisiensi *thermal* dari mesin pada mesin otto dapat

dilakukan antara lain dengan cara menaikkan rasio kompresi.

2.6.2 Daya

Pada motor bakar torak, daya yang berguna ialah daya yang terjadi pada poros. Karena poros itulah yang menggerakkan beban motor. Daya poros itu sendiri dibangkitkan oleh daya indikator yang merupakan daya hasil pembakaran yang menggerakkan piston. Sebagian besar daya indikator yang dihasilkan dari hasil pembakaran bahan bakar di gunakan untuk mengatasi gerak mekanik pada peralatan mesin itu sendiri, misalnya kerugian karena gesekan antara dinding silinder dengan ring piston, poros dengan bantalan. Disamping itu pula daya indikator ini juga harus menggerakkan berbagai peralatan tambahan seperti pompa pelumas, pompa air pendingin atau pompa bahan bakar dan generator listrik, sehingga daya akhir yang efektif yang dihasilkan dari proses pembakaran adalah

$$N_e = N_i - (N_g + N_a)$$

Keterangan:

- N_e = daya proses atau daya efektif (P_s)
- N_i = daya indikator (P_g)
- N_g = daya gesek (P_s)
- N_a = daya aksesoris (P_a)

Untuk mengetahui daya poros diperlukan beberapa peralatan laboratorium dbutuhkan dinamometer untuk mengukur momen puter dan tachometer untuk mengukur kecepatan putaran poros engkol kemudian daya poros dihitung dengan persamaan :

$$BHP = \frac{N}{\eta_g \eta_{kopling}} \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan:

BHP (N_e)	= daya generator (effektif) mesin (Watt)
$N (P)$	= daya mesin ($V.I \cos \phi$) (watt)
η_g	= efisiensi generator
$\eta_{kopling}$	= efisiensi kopling

Dari persamaan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa ($N_a + N_g$) harus dibuat sekecil mungkin agar N_e yang diperoleh dapat sebesar mungkin.

2.6.3 Torsi (T)

Poros yang bergerak dengan kecepatan tertentu, akan menghasilkan momen torsi atau momen puntir, waktu berputarnya dan torsi sendiri adalah kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja:

$$T = \frac{.BHP}{\omega} \dots\dots\dots 2.3$$

Keterangan:

ω	= $\frac{2.\pi.n}{60}$ ($\frac{rad}{sec}$)
T	= Torsi (N.m)
BHP	= Daya generator (daya efektif) (Hp)
n	= Kecepatan putaran mesin (rpm)

2.6.4 Tekanan Efektif Rata – Rata (bmep)

Tekanan efektif rata-rata pengamat dari motor, (*Break Mean Effective Pressure*) didefinisikan sebagai tekanan efektif rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif pengamatan.

$$BHP = Bmep.V_{sil}.a.n.z$$

$$B_{mep} = \frac{BHP}{V_{sil} \cdot a \cdot n \cdot z} \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana :

- Bmep = Tekanan efektif rata-rata (KPa)
- BHP = *Brake Horse Power* (Daya) (HP)
- n = Putaran mesin (rpm)
- a = 1 siklus (motor 2-langkah)
0,5 siklus (motor 4-langkah)
- V_{sil} = Volume silinder (m³)
- Z = 1 silinder

2.6.5 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (bsfc)

Bsfc (*Brake Specific Fuel Consumption*) adalah banyak bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin untuk menghasilkan 1 HP selama 1 jam. Apabila dalam pengujian diperoleh data mengenai penggunaan bahan bakar, m (Kg) dalam waktu selama t (detik) dan daya yang dihasilkan sebesar bhp (hp), maka pemakaian bahan bakar per jam (B) adalah :

$$B = \frac{3600 \cdot m_{bb}}{s} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right)$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah :

$$Bsfc = \frac{(\text{Pemakaian bahan bakar / jam})}{bhp}$$

$$Bsfc = \frac{\dot{m}}{BHP} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana :

$$Bsfc = \text{Pemakaian bahan bakar spesifik} \quad \left(\frac{kg}{Wh} \right)$$

$$BHP = \text{Brake Horse Power} \quad \left(\frac{Joule}{s} \right)$$

$$m_{bb} = \text{massa bahan bakar per waktu} \quad \left(\frac{m}{s} \right)$$

2.6.6 Efisiensi Termis (η_{th})

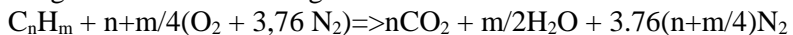
Efisiensi thermis adalah prosentase yang menyatakan besarnya pemanfaatan panas dari bahan bakar untuk dirubah menjadi daya efektif oleh motor pembakaran dalam. Secara teoritis dituliskan dalam persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{\text{Daya efektif yang dihasilkan}}{\text{Energi panas bahan bakar per satuan waktu}} \times 100\%$$

2.7 Unjuk Kerja Teoritis

2.7.1 Reaksi Pembakaran dengan Cara Stokimetri

Persamaan reaksi pembakaran teoritis antara hidrokarbon dengan udara adalah sebagai berikut:



Persamaan diatas menyatakan perbandingan stokimetris dari udara bahan bakar yang tersedia cukup oksigen untuk mengubah seluruh bahan bakar menjadi produk yang bereaksi sempurna AFR stoikometris tergantung komposisi kimia bahan bakar

Untuk rumus AFR sendiri dapat di hitung atas dasar mulal dengan rumus sebagai berikut

$$AFR = \frac{X_{udara}}{X_{bahanbakar}} \times \frac{M_{udara}}{M_{bahanbakar}}$$

Dimana =

X udara = jumlah mole udara

X bahan bakar = jumlah mole bahan bakar

M udara = massa udara berdasarkan mole

M bahan bakar = massa bahan bakar berdasarkan mole

2.7.2 Menghitung Laju Udara Secara Teoritis

Untuk menghitung laju udara dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut

$$\dot{m} = q \times \rho$$

Dimana

\dot{m}_{air}	= laju udara teoritis	kg/s
q	= kapasitas	m ³ /s
ρ	= massa jenis udara	kg/m ³

2.7.3 Menghitung Laju Bahan Bakar

Untuk menghitung laju bahan bakar yang di gunakan dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut

$$\dot{m}_{\text{bb}} = \frac{\dot{m}_{\text{air}}}{AFR}$$

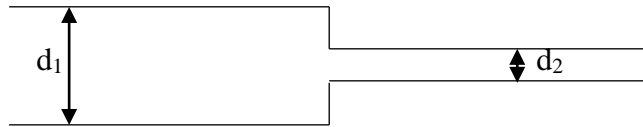
Dimana

\dot{m}_{bb}	= laju bahan bakar teoritis	kg/s
\dot{m}_{air}	= laju udara teoritis	kg/s
AFR	= air fuel rasio teoritis	

2.8 Perencanaan Diameter Nozzle Ventury Mixture

2.8.1 Persamaan Bernoulli

a. Persamaan rumus bernoulli



$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z + K_c \frac{V_1^2}{2g}$$

Dimana :

P_1 = tekanan regulator (Pa)

P_2 = tekanan inlet manifold (Pa)

V_1 = kecepatan bahan bakar di selang LPG (m/s)

V_2 = kecepatan bahan bakar di nozzle mixture (m/s)

γ = berat jenis bahan bakar (kg/m^3)

Z = ketinggian (m)

K_c = koefisien kontraksi

G = gravitasi bumi (m/s)

Dari rumus di atas di ketahu bahwa ketinggian dalam perhitungan kali ini sama sehingga dapat di abaikan sedangkan $\gamma = \rho g$ jadi persamaan tersebut bisa menjadi perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{P_1 + P_2}{\rho g} + (1 - k) \frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g}$$

2.8.2 Luasan Nozzle

Setelah kecepatan V_2 diketahui kita bisa mencari luasan nozzle dengan rumus sebagai berikut

$$A_2 = \frac{A_1 \times V_1}{V_2}$$

2.8.3 Diameter Nozzle

Setelah kita mengetahui luasan dari nozzle kita bias mencari diameter nozzle dengan rumus sebaga berikut

$$d = \sqrt{\frac{A}{0,25 \times 3,14}}$$

BAB III

METODOLOGI

3.1 Penelitian

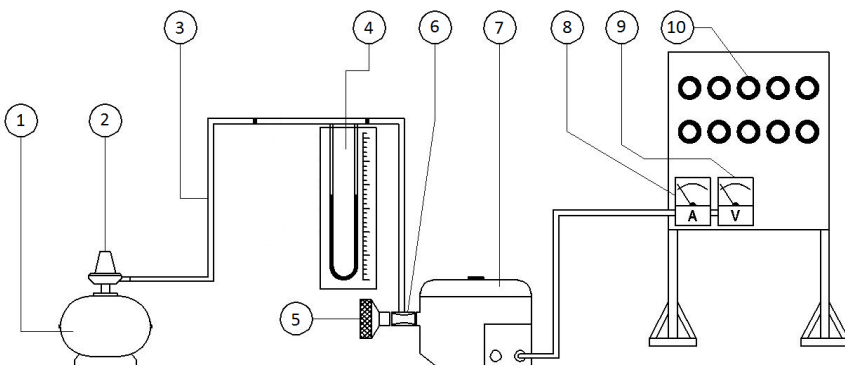
Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja dari mesin genset empat langkah dengan menggunakan bahan bakar Gas LPG. Metode yang dilakukan dengan cara membandingkan parameter unjuk kerja penggunaan bahan bakar Gas LPG secara actual dengan teoritis dengan metode uji konstan speed terhadap perbandingan laju aliran massa dan beban lampu.

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Motor Pembakaran Dalam Workshop Departemen Teknik Mesin Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Kampus Sukolilo Surabaya.

3.3 Instalasi Percobaan

Skema instalasi percobaan secara sederhana menggunakan bahan bakar Gas LPG dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1. Skema Instalasi percobaan sederhana

Keterangan Gambar 3.1 :

- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| 1. Instalasi biogas | 6. Mixer |
| 2. Globe valve | 7. Genset Motor bensin |
| 3. Selang bahan bakar | 8. Ampere meter |
| 4. Pitot Flow meter | 9. Volt meter |
| 5. Filter (saringan) | 10. Lampu beban (10 lampu) |

Dan untuk instalasi percobaan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.2. yang sebelumnya sudah melalui proses penyetingan terlebih dahulu.



Gambar 3.2. Instalasi percobaan

3.4 Peralatan Percobaan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Mesin generator Vorex V 1500
 - a. Model : V 1500
 - b. Piston dan silinder
Volume silinder : 100 cc

- c. Putaran
 - Putaran idle 4K : 1.000 rpm
 - Putaran tinggi : 3.500 rpm
- d. Konsumsi bahan bakar : 0,72 L/jam
- e. Kapasitas tangki bahan bakar: 10 Liter
- f. Kapasitas minyak pelumas : 0,6 Liter



Gambar 3.3. Generator Set Vorex V 1500

2. Lampu beban

Lampu ini digunakan untuk mengatur seberapa besar pembebanan yang diberikan pada mesin sehingga dengan mengatur pembebanan tersebut kita dapat mendapatkan berbagai macam kecepatan dan unjuk kerja yang kita cari.



Gambar 3.4. Lampu Beban

3. Tachometer

Tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan putaran dari mesin yaitu kecepatan dari poros generator yang telah dikopel dengan poros mesin bensin.

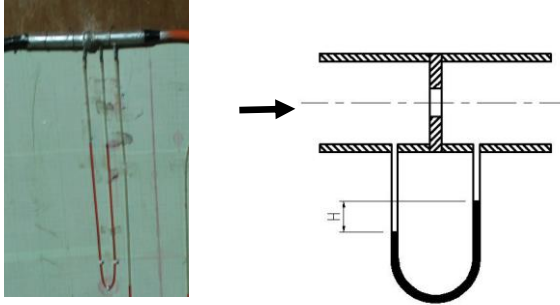


Gambar 3.5. Tachometer

4. Plat Orifice

Plat orifice merupakan alat ukur aliran yang paling murah, paling mudah pemasangannya, tetapi juga paling kecil ketelitiannya diantara alat ukur aliran jenis flowmeter. tipe plat

yang di pakai pada penelitian ini adalah plat orifice tipe konsentris.



Gambar 3.6. Plat Orifice

5. Katup bukaan udara

Katup bukaan udara digunakan untuk mengatur jumlah udara yang masuk pada mixer venture dan disesuaikan dengan kebutuhan udara yang dibutuhkan genset.



Gambar3.7. Manual Valve

6. Stopwatch

Alat ini digunakan untuk mengatur waktu yang dibutuhkan oleh mesin untuk membakar bahan bakar tertentu pada gelas ukur.

7. Volt meter

Volt meter digunakan untuk mengukur tegangan listrik yang dihasilkan oleh generator.



Gambar 3.8. Volt meter

8. Ampere meter

Ampere meter digunakan untuk mengukur Arus listrik yang dihasilkan oleh generator.



Gambar 3.9. Ampere meter

9. Preseure Regulator Manual

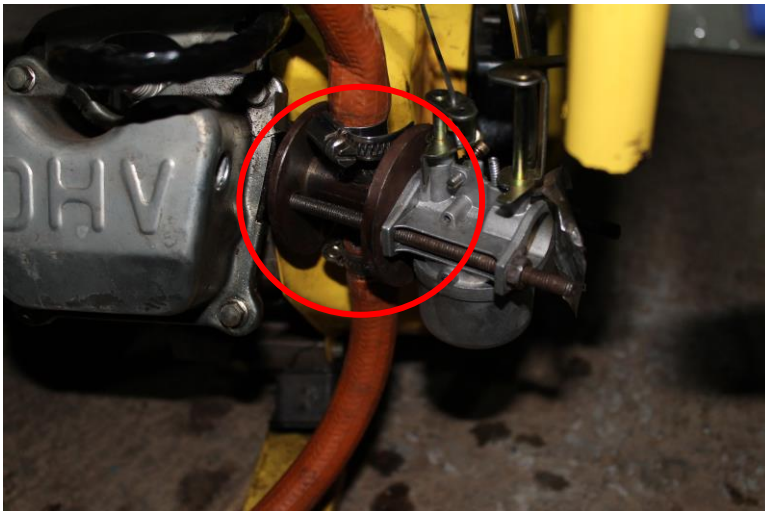
Pressure Regulator Manual berfungsi sebagai pegatur tekanan gas yang keluar dari tangki secara manual sesuai dengan kebutuhan bahan bakar gas pada mesin genset.



Gambar 3.10. Presure Regulator Manual

10. Mixer Ventury

Mixer adalah suatu komponen yang berfungsi untuk mencampur udara dan bahan bakar gas yang kemudian akan dimasukkan ke ruang bakar karena adanya kevakuman di ruang bakar.



*Gambar 3.11. Modifikasi mixer
(Ventury dengan 4 lubang eksentris)*

Tabel 3.1 Spesifikasi dan Jenis Modifikasi mixer

Jenis mixer	Diameter lubang pemasukan udara	Diameter lubang pemasukan Gas
Modifikasi mixer (Mixer ventury)	Diameter udara masuk = 25 mm, diameter ventury = 10 mm.	diameter masukan gas ke mixer = 6 mm (segaris)

3.5 Bahan Bakar Uji

Bahan bakar pengujian yang digunakan dalam percobaan adalah biogas dan gas LPG 3 kg Pertamina. Di bawah ini adalah ciri-ciri bahan bakar yang digunakan dalam pengujian :

Tabel 3.2. Nilai massa jenis bahan bakar uji

Bahan Bakar Yang Diuji	$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$
Gas LPG	1,82

Ciri-ciri bahan bakar diatas diteliti di Laboratorium Departemen Teknik Mesin Industri ITS, Surabaya.

3.6 Prosedur Pengujian

Tahapan-tahapan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Persiapan pengujian
 - a. Pemeriksaan kerapatan baut pada sambungan poros dan bantalan motor bensin.

- b. Pengecekan kondisi saluran bahan bakar, minyak pelumas dan kondisi filter udara.
- c. Periksa karburator pada genset. Karburator pada genset terlebih dahulu, dan membersihkan saluran Venturi.
- d. Mempersiapkan bahan uji dari gas LPG , mixer venturi, serta mempersiapkan alat ukur pengujian yang digunakan seperti tachometer, pitot, lampu beban, voltmeter, dan amperemeter.
- e. Untuk pemasangan mixer, lubangnya harus ditutup sebagian agar udara yang masuk tidak terlalu banyak, sehingga dapat menjadi ideal dan terjadi proses pembakaran.
- f. Menghubungkan kabel antara generator dengan lampu beban.
- g. Cek kabel-kabel agar terhubung dengan baik.
- h. Pada penggunaan bahan bakar LPG, pasang modifikasi penambahan mixer venturi pada Intake manifold setelah itu pasang karburator kemudian pasang filter udara.
- i. Pasang pressure regulator valve manual pada sumber biogas dan hubungkan pada selang, kemudian pasang alat ukur orifice dan manometer pipa U diantara pressure regulator manual dan masukan gas pada mixer.
- j. Pengecekan pada sambungan selang LPG, untuk mengecek apakah ada kebocoran atau tidak.
- k. Pengecekan alat ukur apakah telah terhubung dengan baik dan bekerja dengan baik.
- l. Setelah semua dipastikan telah terpasang dengan benar, maka percobaan sudah dapat dilakukan.

2. Pengujian dengan menggunakan bahan bakar LPG.

- a. Pastikan kondisi valve dalam kondisi bagus yang telah terpasang pada tangki biogas berada pada posisi tertutup penuh sebelum mesin genset dihidupkan.
- b. Buka perlahan-lahan katup valve pada sumber sehingga penambahan dari gas berpengaruh pada putaran, tunggu beberapa saat sampai kondisi *steady state* ± 10 menit.
- c. Menyesuaikan konsumsi bahan bakar LPG sampai dengan tekanan tertentu yang dibutuhkan oleh mesin. tunggu beberapa saat sampai kondisi *steady state* ± 10 menit, lalu atur putaran hingga mendapatkan putaran 3000 rpm.
- d. Melihat perbedaan ketinggian fluida pada pitot flow meter (H), untuk dimasukkan dalam rumus perhitungan agar mendapatkan kecepatan aliran dari LPG.
- e. Melihat besar tegangan dengan cara membaca penunjukan jarum pada voltmeter dan mencatatnya dalam lembar pengamatan.
- f. Melihat besar arus dengan cara membaca penunjukan jarum pada amperemeter dan mencatatnya dalam lembar pengamatan.
- g. Nyalakan satu buah lampu beban, lalu periksa putaran mesin. Jika putaran mesin turun, maka naikan lagi hingga mencapai putaran 3000 rpm lalu catat tegangan, arus, dan perbedaan ketinggian fluida pada pitot flow meter(H).
- h. Untuk mendapatkan data-data pada beban 1 sampai 10 lampu dapat dilakukan dengan cara mengulang langkah e sampai i.
- i. Percobaan menggunakan bahan bakar LPG ini dilakukan dengan variasi putaran diantaranya 3000 rpm

- j. Lakukanlah langkah yang sama saat melakukan pengujian selanjutnya.
- k. Setelah semua data yang dibutuhkan pada percobaan menggunakan bahan bakar LPG didapatkan menggunakan mixer venturi, maka sebelum dimatikan. Tutup manual valve perlahan-lahan hingga perubahan pada putaran menjadi mengecil, mesin dimatikan dengan menekan switch on/off engine pada posisi off dan manual valve ditutup penuh

3. Akhir pengujian

Dengan diperolehnya semua data yang diperlukan, data-data tersebut dapat dianalisa dengan perumusan pada buku referensi masing-masing laju massa aliran dan kecepatan aliran dapat dicari. Untuk mempermudah penganalisaan, hasil perhitungan disajikan dalam bentuk grafik pada setiap variasi tekanan LPG.

3.7 Sistem Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan variasi sebagai berikut :

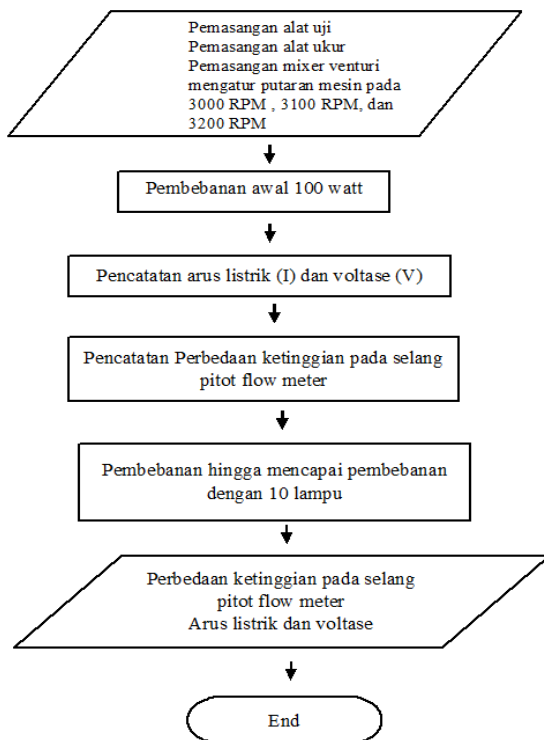
1. Studi literatur, bertujuan untuk mendapatkan berbagai macam informasi dan data yang berkaitan dengan obyek penelitian, laju aliran masa LPG yang dibutuhkan mesin jika menggunakan mixer venturi terhadap beban lampu.
2. Melakukan pengujian di laboratorium pengujian untuk mendapatkan data – data sebagai berikut :
 - a. Putaran mesin
 - b. Tegangan
 - c. Arus

- d. H (selisih ketinggian fluida yang terbaca dalam pipa pitot flow meter) untuk mendapatkan kapasitas aliran.
- 3. Analisa data, dalam hal ini dilakukan analisa berdasarkan data–data pengujian yang meliputi :
 - a. Putaran mesin
 - b. Tegangan
 - c. Arus
 - d. Laju aliran masa gas LPG.
- 4. Pembahasan dan evaluasi perbandingan, dalam tahap ini akan dilakukan pembahasan serta evaluasi perbandingan terhadap hasil – hasil yang didapat.
- 5. Kesimpulan.

3.8 Diagram Alir

3.8.1 Diagram Alir Pengujian

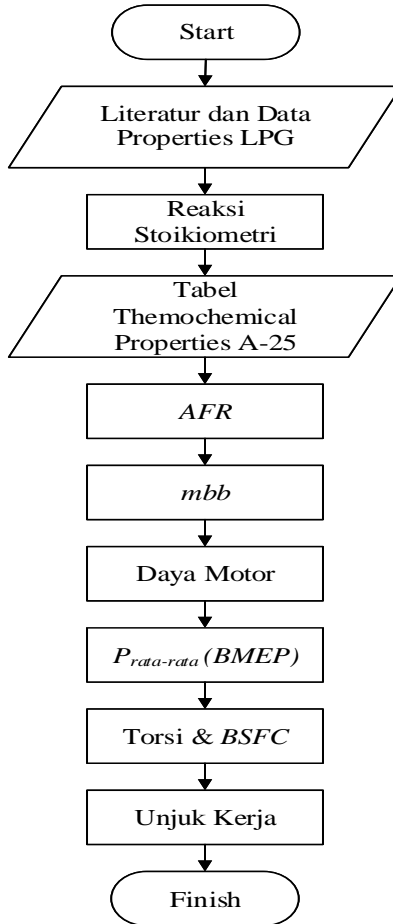
Urutan langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.12 Diagram Alir Pengujian lpg

3.8.2 Diagram Alir Perhitungan Teoritis

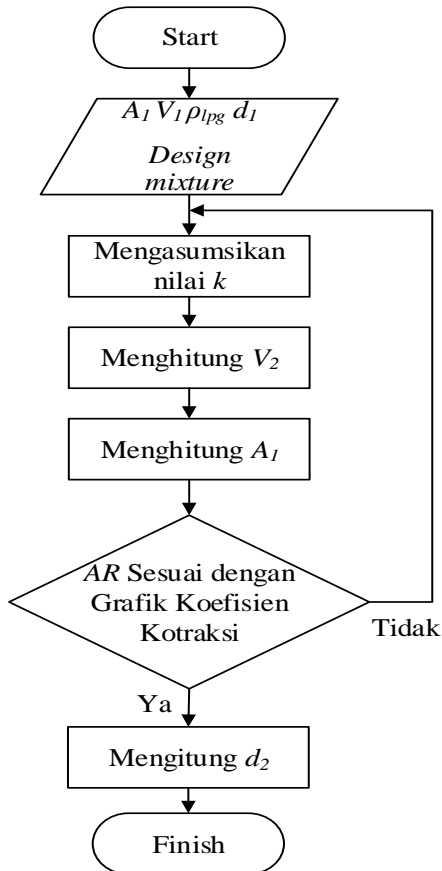
Urutan langkah yang akan di lakukan dalam perhitungan teoritis dapat digambarkan dalam diagram alri sebagai berikut :



Gambar3.13 Diagram Alir perhitungan teoritis

3.8.3 Diagram Alir Perencanaan Diameter Nozzle Mixture

Urutan langkah yang akan di lakukan dalam perencanaan diameter nozzle mixture digambarkan dalam diagram alri sebagai berikut :



Gambar3.14 diagram alir perencanaan diameter nozzle mixture

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Setelah melakukan serangkaian pengujian unjuk kerja mesin genset menggunakan bahan bakar gas LPG dan bahan bakar Pertalite dengan beban mesin yang digunakan bervariasi yaitu 1 sampai 10 lampu dengan putaran konstan pada 3000, 3100, 3200 rpm terhadap beban @ lampu dengan beban 100 Watt, maka data yang dapat diketahui yaitu Torsi, BHP, BMEP, BSFC, dan Efisiensi. Selain itu juga dapat mengetahui laju aliran masa pada bahan bakar gas LPG melalui hasil pengukuran perbedaan ketinggian (ΔH) manometer tabung U pitot.

4.2 Perhitungan

Untuk mempermudah analisa dan pengambilan kesimpulan dilakukan perhitungan-perhitungan data hasil pengujian yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Beberapa data yang diperlukan untuk melakukan analisa adalah sebagai berikut :

1. Data engine :

- a. Jumlah silinder : 1
- b. Volume langkah : 100 cc

2. Data cairan pitot :

a. Pertalite :

1) ρ pertalite $: 772 \frac{kg}{m^3}$

3. Data bahan bakar ;

a. Gas LPG :

1. Lower Heating Value, LHV : $47000 \frac{kJ}{kg}$
2. ρ bahan bakar : $1,82 \frac{kg}{m^3}$

4.3 Analisa Hasil Pengujian Genset Menggunakan Bahan Bakar Gas LPG

Pengujian unjuk kerja genset mesin menggunakan bahan bakar gas LPG yang sudah dilakukan, memberikan suatu hasil performa mesin dengan metode konstan speed..

Data Pengukuran pada manometer pitot (H_{pitot}) Bahan Bakar Gas .Untuk mengetahui besar Laju aliran massa bahan bakar gas yang dibutuhkan mesin dapat diketahui dengan mengukur perbedaan ketinggian permukaan bensin (H) pada manometer pitot terhadap beban 1 sampai 10 lampu pada variasi putaran 3000 rpm, 3100 rpm dan 3200 rpm. Dari hasil pengujian diperoleh data sebagai berikut :

4.3.1 Data Hasil Pengukuran Unjuk Kerja Genset Menggunakan Bahan Bakar Gas LPG

Tabel 4.1. Perbedaan ketinggian manometer pitot pada pengujian bahan bakar gas LPG pada rpm 3000.

Lampu	Arus (ampere)	Tegangan (Volt)	Manometer Pitot ($\Delta H = \text{mm}$)
1	0,1	220	1

2	0,3	220	1.5
3	0,6	220	2
4	1	220	2
5	1,4	220	2.5
6	1,8	220	3
7	2,3	220	3.5
8	2,7	220	4
9	3,1	220	4.5
10	3,4	220	5

4.3.2 Perhitungan Laju Aliran Massa Bahan Bakar Gas LPG (\dot{m})

Contoh : Perhitungan percobaan pada beban 3 lampu kondisi putaran 3000 rpm dengan menggunakan bahan bakar gas LPG serta penambahan mixer venturi.

Diketahui :

- Lampu beban : 3 lampu
- Putaran motor : 3000 rpm
- Perbedaan ketinggian permukaan fluida
Tabung pitot (H_{pitot}) : 2 mm
- $\rho_f = \rho_{\text{alat ukur}}$ pada suhu 34° C : 772 kg/m³
- Diameter pipa saluran LPG (D_1) : 18 mm

Perhitungan massa jenis bahan bakar (ρ_{lpg})

- Hitung tekanan statis bahan bakar (P_{st})

$$P_{st} = \rho_f \cdot g \cdot \Delta H$$

Diketahui :

$$\rho_f = 996 \frac{kg}{m^3}$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s}$$

$$H = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$P_{st} = 996 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s} \times 0,5 \text{ m}$$

$$P_{st} = 4885,38 \frac{N}{m^2}$$

$$= 4885,38 \text{ Pa}$$

Dimana, 1 atm = 101325 Pa

Maka,

$$P_{st} = 4885,38 \text{ Pa} + 101325 \text{ Pa} = 106391,25 \text{ Pa}$$

Persamaan gas ideal

$$P V = m R T$$

$$P V = m R T$$

$$\underline{\hspace{2cm}} : m$$

$$v = V / m$$

$$P v = R T$$

Dimana , $v = 1 / \rho$

Maka,

$$\begin{aligned}\rho_{lpg} &= \frac{P}{R.T} \\ &= \frac{106391,25 \text{ Pa}}{0,189 \frac{\text{kg}}{\text{kg.k}} \cdot 308 \text{ K}}\end{aligned}$$

atau,

$$\begin{aligned}\rho_{lpg} &= \frac{P}{R.T} \\ &= \frac{106391,25 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}^2}}{189 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 308} \\ &= 106391,25 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}^2} \times \frac{1 \text{ s}^2}{189 \text{ m}^2 \cdot 308} \\ &= 1,82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\end{aligned}$$

Perhitungan kecepatan (v)

- Hitung kecepatan

Persamaan Bernoulli

$$\begin{aligned}\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g Z &= \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + g Z \\ \frac{P_1 - P_2}{\rho} &= \frac{V_1^2 - V_2^2}{2}\end{aligned}$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2$$

$$\rho_{alat\ ukur} \times g \times h = \frac{1}{2} \times \rho_{lpg} \times v^2$$

$$V = \sqrt{\frac{2 (\rho_{alat\ ukur} \times g \times h)}{\rho_{lpg}}}$$

Maka,

$$\begin{aligned} V &= \sqrt{\frac{2 \left(772 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,002 \text{ m} \right)}{1,82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} \\ &= \sqrt{\frac{30,293 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}{1,82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} \\ &= \sqrt{16,645 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} \\ &= 4,0797 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Perhitungan kecepatan rata – rata (\bar{U})

- Mencari reynold Number

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

Diketahui :

- Massa jenis LPG (ρ_{lpg}) : $1,82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- Kecepatan aliran fluida gas LPG (V) : $4,0797 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
(Percobaan rpm 3000 beban lampu 3)
- Diameter pipa gas LPG (D) : 0,013 m

d. Viskositas absolut LPG (μ_{lpg}) : $0,00011 \frac{Ns}{m^2}$

Maka,

$$\begin{aligned} Re &= \frac{1,82 \frac{kg}{m^2} \times 4,078 \frac{m}{s} \times 0,013 m}{0,00011 \frac{Ns}{m^2}} \\ &= \frac{0,1584}{0,00011} \\ &= 877,525 < 2300 \quad \{ \text{aliran laminar} \} \end{aligned}$$

Kecepatan rata – rata (\bar{U}) aliran laminar

$$\begin{aligned} \bar{U} &= \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi R^2} = -\frac{R^2}{8\mu} \left(\frac{\delta p}{\delta x} \right) \\ U &= U_{max} = -\frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{\delta p}{\delta x} \right) = 2 \bar{U} \\ U &= U_{max} = 2 \bar{U} \\ \bar{U} &= \frac{1}{2} U_{max} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \bar{U} &= \frac{1}{2} U_{max} \\ &= \frac{1}{2} \times 4,0797 \frac{m}{s} \\ &= 2,0393 \frac{m}{s} \end{aligned}$$

Mencari Kapasitas laju aliran fluida (Q)

$$Q = V \times A$$

Diketahui :

- a. Kecepatan aliran fluida gas LPG (V) : $2,039 \frac{m}{s}$
(pada rpm 3000 lampu 3)
- b. Luas penampang selang gas LPG (A) : $0,0001326 \text{ m}^2$

Maka ,

$$\begin{aligned} Q &= V \times A \\ &= 2,039 \frac{m}{s} \times 0,0001326 \text{ m}^2 \\ &= 0,000270371 \frac{\text{m}^3}{s} \end{aligned}$$

Mencari Laju aliran massa gas LPG (\dot{m})

$$\dot{m} = Q \times \rho_{lpg}$$

Diketahui :

- a. Kapasitas laju aliran fluida (Q) : $0,000270371 \frac{\text{m}^3}{s}$
(pada rpm 3000 lampu 3)
- b. Massa jenis LPG (ρ_{lpg}) : $1,82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Maka,

$$\begin{aligned} \dot{m} &= Q \times \rho_{lpg} \\ &= 0,000270371 \frac{\text{m}^3}{s} \times 1,82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 0,000492292 \frac{\text{kg}}{s} \end{aligned}$$

$$=1,772 \frac{kg}{jam}$$

4.3.3 Data hasil perhitungan laju aliran massa gas LPG (\dot{m}_f)

Tabel 4.2. Laju aliran massa bakar gas LPG dengan variasi putaran konstan speed 3000 rpm

Lampu	Laju Aliran Massa Gas LPG (Kg/Jam)
	Rpm 3000
1	1.253
2	1.535
3	1.772
4	1.772
5	1.981
6	2.171
7	2.344
8	2.506
9	2.658
10	2.802

4.3.4 Perhitungan Data Hasil Pengukuran Kinerja Genset Mesin

Untuk memberikan gambaran perhitungan untuk mengetahui daya, bmep, bsfc, dan efisiensi thermis maka diambil

sebagian data dari pengujian untuk kondisi performa mesin menggunakan bahan bakar gas LPG pada putaran 3000 rpm.

Contoh : Perhitungan pada bahan bakar gas LPG dan percobaan 1 kondisi 3000 rpm pada genset mesin.

Diketahui :

- Putaran motor : 3000 rpm
- Tegangan : 300 Volt
- Kuat arus pada beban 3 : 0,6 A

Jawab :

a. Daya Generator

Untuk mengetahui daya digunakan persamaan berikut:

$$P = \frac{VI}{\cos \varphi}$$

Dimana :

P = daya generator (Watt)

V = tegangan (Volt)

I = kuat arus (Ampere)

$\cos \varphi = 0.8$

dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= \frac{220V \times 0,6A}{\cos \varphi} \\ &= 165 \text{ Watt} \end{aligned}$$

b. Daya Motor (BHP)

Jika diketahui :

effisiensi kopling = 1

efisiensi generator = 0.88

Maka untuk mengetahui BHP digunakan persamaan sebagai berikut :

$$BHP = \frac{P}{\eta_g \cdot \eta_{kopling}} \text{ (Watt)}$$

dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$BHP = \frac{165 \text{ Watt}}{1 \times 0.88}$$

$$BHP = 187,5 \text{ Watt}$$

c. Torsi

Untuk mengetahui Torsi, maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Torsi} = \frac{BHP}{\omega}$$

$$\text{Torsi} = \frac{60 \times BHP}{2 \times \pi \times n} \text{ (Nm)}$$

Dimana :

BHP = Brake Horse Power (Watt)

n = Putaran mesin (rpm)

= 3063 (rpm)

Dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Torsi} = 187,5 \frac{Nm}{s} \times \frac{1 \text{ min}}{2\pi \times 3063} \times \frac{60s}{\text{min}}$$

$$\text{Torsi} = 0,58 Nm$$

d. Tekanan efektif rata – rata (bmep)

Untuk mengetahui tekanan efektif rata–rata digunakan persamaan berikut :

$$BHP = BMEP \times V_{sil} \times n$$

$$BMEP = \frac{BHP}{V_{sil} \times n} \text{ (KPa)}$$

Dimana :

$$BHP = \text{Brake Horse Power} \quad (\text{Watt})$$

$$n = \text{putaran mesin} \quad (\text{rpm})$$

$$= 3063 \quad (\text{rpm})$$

$$a = \frac{1}{2} \text{ siklus (motor 4-langkah)}$$

$$V_{sil} = \text{Volume silinder} \quad (\text{m}^3)$$

$$= 100 \text{ cm}^3 \times \frac{10^{-6} \text{ m}^3}{\text{cm}^3}$$

$$= 100 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$z = 1 \text{ silinder}$$

dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{BMEP} = 187,5 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ min}}{100 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \times 3063 \times 0.5 \times 1} \times \frac{60 \text{ s}}{\text{min}}$$

$$\text{BMEP} = 75000 \text{ Pa}$$

$$\text{BMEP} = 75 \text{ Kpa}$$

e. Pemakaian bahan bakar spesifik (bsfc)

Untuk menghitung pemakaian bahan bakar spesifik digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{BSFC} = \frac{\dot{m}}{\text{BHP}}$$

Dimana :

$$\dot{m} = \text{konsumsi bahan bakar per waktu} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right)$$

$$\text{BHP} = \text{Daya motor} \quad (\text{Watt})$$

dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{BSFC} = \frac{0.000492292 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{187.5 \text{ watt}}$$

$$\text{BSFC} = 0,009452 \frac{\text{kg}}{\text{Wh}}$$

f. Efisiensi thermis (η_{th})

Untuk menghitung efisiensi thermis digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{th} = \frac{\text{Energi}_{out}}{\text{Energi}_{in}}$$

$$\eta_{th} = \frac{BHP}{\dot{m} \times Q} \times 100\%$$

Dimana :

BHP = Daya motor (Watt)

Q = Lower Heat Value ($\frac{kJ}{kg}$)

dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\eta_{th} = \frac{187,5 \frac{Nm}{sec}}{1,772 \frac{kg}{jam} \times 47000 \frac{1000 Nm}{kg}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = 0,81 \%$$

4.3.5 Data Hasil Perhitungan Kinerja Genset Menggunakan Bahan Bakar gas LPG

Tabel 4.3. Data perhitungan unjuk kerja gas LPG dengan konstan speed 3000 rpm.

lampu	Daya Generator	BHP	BSFC	BMEP	TORSI	Effisiensi
	(watt)	(watt)	(Kg/jam)	(Pa)	(Nm)	(%)

1	28	31.25	0.0401	13	0.10	0.19
2	83	93.75	0.0163	38	0.29	0.47
3	165	187.5	0.0094	75	0.58	0.81
4	275	312.5	0.0056	125	0.98	1.35
5	385	437.5	0.0045	175	1.37	1.69
6	495	562.5	0.0038	225	1.76	1.98
7	633	718.75	0.0032	288	2.25	2.35
8	743	843.75	0.0029	338	2.66	2.58
9	853	968.75	0.0027	388	3.07	2.79
10	935	1062.5	0.0026	425	3.35	2.90

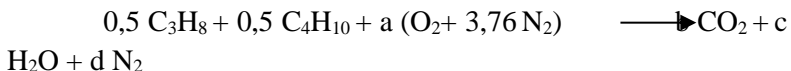
4.4 Menghitung Air Fuel ratio dari mesin genset 100cc dengan excess air sebesar 10% dan kinerja mesin genset secara teoritis

Diketahui kandungan didalam LPG Propana sebesar 50% dan Butana sebesar 50%

rumus kimia: Propana = C_3H_8

: Butana = C_4H_{10}

➤ Reaksi Stokiometri



Mencari kesetimbangan reaksi

$$C : b = 0,5 (3) + 0,5 (4) \\ = 3,5$$

$$H : 2c = 0,5 (8) + 0,5 (10) \\ = 4,5$$

$$O : 2a = 2b + c \\ = 2 (3,5) + 4,5$$

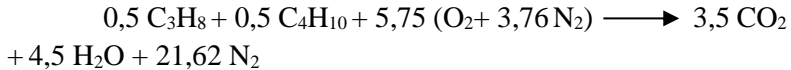
$$= 5,75$$

$$N : d = a \times 3,76$$

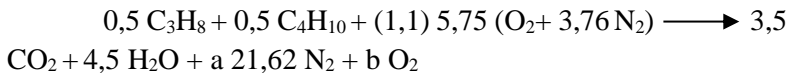
$$= 5,75 \times 3,76$$

$$= 21,62$$

➤ Hasil kesetimbangan stokiometri



➤ Excess Air 110%



Mencari kesetimbangan reaksi

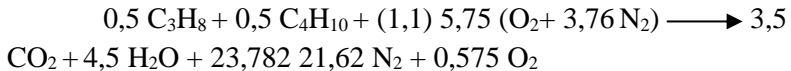
$$\text{N}_2 : a = 1,1 \times 5,75 \times 3,76$$

$$= 23,782$$

$$\text{O} : 2b = (1,1 \times 5,75 \times 2) - ((3,5 \times 2) + (4,5))$$

$$= 0,575$$

➤ Hasilnya



Dari rumus diatas dapat dihitung air fuel ratio nya

Diketahui : dari tabel A-25 didapat berat molekul

- Udara = $28,97 \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}}$
- Propana = $44,09 \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}}$
- Butana = $58,12 \frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}}$

Maka,

$$\text{AFR} = \frac{\chi_{\text{udara}} \bar{M}_{\text{udara}}}{\chi_{\text{bahan bakar}} \bar{M}_{\text{bahan bakar}}}$$

=

$$\begin{aligned}
 & \frac{(1,1 \times 5,75 \times 4,76) \frac{\text{Kmol (udara)}}{\text{Kmol (bahan bakar)}} \times 28,97 \frac{\text{Kg (udara)}}{\text{Kmol (bahan bakar)}}}{1 \frac{\text{Kmol (udara)}}{\text{Kmol (bahan bakar)}} \times ((0,5 \times 44,09) \frac{\text{Kg (udara)}}{\text{Kmol (bahan bakar)}} + (0,5 \times 58,12) \frac{\text{Kg (udara)}}{\text{Kmol (bahan bakar)}})} \\
 & = 17,06 \frac{\text{Kg (udara)}}{\text{Kg (bahan bakar)}}
 \end{aligned}$$

a. Menghitung laju udara teoritis

Untuk menghitung laju udara dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut

$$\dot{m} = q \times \rho$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_{\text{air}} &= \text{laju udara} & \text{kg/s} \\
 q &= \text{kapasitas} & \text{m}^3/\text{s} \\
 \rho &= \text{massa jenis udara} & \text{kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_{\text{air}} &= 3,2 \text{ m/s} \times 0,25 \times 3,14 \times 256 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 0,00771 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

b. Menghitung laju bahan bakar teoritis

Untuk menghitung laju bahan bakar teoritis dapat di hitung dengan rumus sabagai berikut

$$\dot{m}_{bb} = \frac{\dot{m}_{air}}{AFR}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{bb} &= \text{laju bahan bakar} & \text{kg/s} \\ \dot{m}_{air} &= \text{laju udara} & \text{kg/s} \\ AFR &= \text{air fuel ratio}\end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}\dot{m}_{bb} &= \frac{0,00771 \text{ kg/s}}{17,06} \\ &= 0,000451 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

- a. Menghitung daya motor pada rpm 3000

Untuk menghitung daya motor dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

Dimana :

$$N = \text{efisiensi} \times \dot{m} \times LHV$$

$$\begin{aligned}N &= \text{daya motor} & (\text{N/m}^2) \\ \text{Efisiensi} &= \text{efisiensi thermis} \\ \dot{m} &= \text{laju bahan bakar} & (\text{kg/s}) \\ LHV &= \text{low heat value} & (\text{J/s})\end{aligned}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}N &= 0,25 \times 0,000451 \times 47000000 \\ &= 5299.25 \text{ J/S}\end{aligned}$$

- b. Menghitung $P_{rata-rata}$ (Bmep)

Untuk menghitung $P_{rata-rata}$ dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$Bmep = \frac{BHP}{V_{sil} \cdot a \cdot n \cdot Z}$$

$P_{rata\ rata}$ (Bmep) = Tekanan efektif rata-rata (N/m²)

n = Putaran mesin (rpm)

a = 1 siklus (motor 2-langkah)
0,5 siklus (motor 4-langkah)

V_{sil} = Volume silinder (m³)

Z = 1 silinder

Sehingga

$$Bmep = \frac{5299,25}{0,0001 \times 0,5 \times 3000 \times 1} \times \frac{1\ min}{60\ s}$$

$$Bmep = 588.805\ Pa$$

c. Menghitung Torsi pada rpm 3000 secarar teoritis

Untuk menghitung torsi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Torsi = \frac{N}{\omega}$$

$$Torsi = \frac{60 \times N}{2 \times \pi \times n} (Nm)$$

Dimana :

N = Daya motor (Watt)

n = Putaran mesin (rpm)

= 3000 (rpm)

Sehingga

$$\text{Torsi} = 5299.25 \frac{Nm}{s} \times \frac{1 \text{ min}}{2\pi \times 3000} \times \frac{60s}{\text{min}}$$

$$\text{Torsi} = 16,876 \text{ Nm}$$

d. Menghitung BFSC pada rpm 3000 secara teoritis

Untuk menghitung pemakaian bahan bakar spesifik digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{BSFC} = \frac{\dot{m}}{N}$$

Dimana :

$$\dot{m} = \text{konsumsi bahan bakar per waktu} \left(\frac{kg}{jam} \right)$$

$$N = \text{Daya motor} \quad (\text{Watt})$$

sehingga :

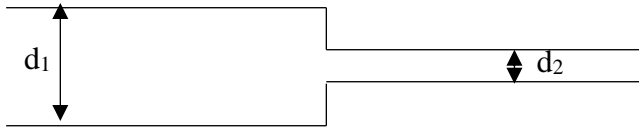
$$\text{BSFC} = \frac{0,000451 \frac{kg}{s}}{5299,25 \text{ watt}}$$

$$\text{BSFC} = 0,000306 \frac{kg}{Wh}$$

4.5 Perhitungan diameter nozzle mixture

untuk perhitungan perencanaan diameter nozzle dapat di cari dengan langkah sebagai berikut :

a. Persamaan rumus bernoulli



$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z + K_c \frac{V_1^2}{2g}$$

Dimana :

- P_1 = tekanan regulator (Pa)
 P_2 = tekanan inlet manifold (Pa)
 V_1 = kecepatan bahan bakar di selang LPG (m/s)
 V_2 = kecepatan bahan bakar di nozzle mixture (m/s)
 γ = berat jenis bahan bakar (kg/m^3)
 Z = ketinggian (m)
 K_c = koefisien kontraksi
 G = gravitasi bumi (m/s)

Dari rumus di atas di ketahu bahwa ketinggian dalam perhitungan kali ini sama sehingga dapat di abaikan sedangkan $\gamma = \rho g$ jadi persamaan tersebut bisa menjadi perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + k \frac{V_1^2}{2g}$$

$$\frac{P_1 + P_2}{\rho g} + (1 - k) \frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g}$$

Dari metode literasi didapat kan $K_c = 0,48$ dengan perbandingan $AR = 0,024$ sehingga

$$\frac{106391,25 - 81500}{1,82 \times 9,81} + (1 - 0,48) \frac{2,0393^2}{2 \times 9,81} = \frac{V_2^2}{2g}$$

$$1394,139 + 0,110 = \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_2 = \sqrt{1394,249 \times 2 \times 9,81}$$

$$V_2 = 165,393 \text{ m/s}$$

Setelah diketahui nilai V_2 kita dapat mencari luasan nozzle dengan perhitungan sebagai berikut :

$$A_2 = \frac{A_1 \times V_1}{V_2}$$

$$A_2 = \frac{0,0000282 \times 2,0393}{165,393}$$

$$A_2 = 0,000000347 \text{ m}^2$$

Setelah kita mengetahui luasan dari nozzle kita bisa mencari diameter nozzle dengan perhitungan sebagai berikut :

$$d = \sqrt{\frac{A}{0,25 \times 3,14}} \times 1000$$

$$= \sqrt{\frac{3,47 \times 10^{-7}}{0,25 \times 3,14}} \times 1000 = 0,664 \text{ mm}$$

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Bahan bakar LPG secara teoritis dengan rpm 3000 memiliki nilai unjuk kerja untuk daya motor sebesar 5299.25 J/s, Bmep sebesar 588,805 Pa, Torsi sebesar 16,876 Nm, BSFC sebesar 0,000306 kg/Wh. Sedangkan bahan bakar LPG secara actual dengan rpm 3000 memiliki nilai unjuk kerja terbaik dengan daya motor 1062.5 j/s, Bmep dengan nilai sebesar 425 Pa, torsi dengan nilai sebesar 3.35 Nm, dan bsfc sebesar 0.0026 kg/wh. Untuk mencapai nilai actual yang sesuai dengan teoritis diperlukan diameter nozzle ventury mixture sebesar 0,664 mm

5.2. Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai Bahan bakar gas jenis LPG ini.
2. Perlu adanya alat penunjang penambah tekanan pada LPG saat masuk ruang bakar
3. Menaikkan tegangan pengapian.
4. Mempertahankan karburator untuk starting awal menggunakan bahan bakar bensin.

DAFTAR PUSTAKA

Andriansyah, Ahmad Ryan, 2011, Rancang Bangun Mixer Untuk Memodifikasi Genset 4 langkah 1 Silinder Berbahan Bakar Bensin dan Biogas Dengan Tingkat Kemurnian 70%, Tugas Akhir D3 Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Arismunandar, Wiranto, 2002, Penggerak Mula Motor Bakar Torak, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.

Burhanudin, Tulus, 2002, Tinjauan Pengembangan Bahan Bakar Gas Sebagai Bahan Bakar Alternatif, Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara, Indonesia.

Fox, Robert W., 2003, Introduction to Fluid Mechnics, sixth edition, United State of America.

Ganesan, V., 2003, Internal Combustion Engines, Second edition : Tata McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi, India.

Mustadi, Lalu, 1998, Upaya Peningkatan Prestasi Engine Melalui Modifikasi Saluran Bahan Bakar Gas Pada Ventury Mixer, Universitas Indonesia.

Micheal J.Moran and Howard N.Shapiro 2006, Fundamentals of Engineering Thermodynamics 5th edition

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Madiun, 13 April 1995, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, SDN patihan Madiun, SMPN 3 Madiun, dan SMAN 5 Madiun. Pada tahun 2013 Penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Mesin FTI – ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 2113030025. Konversi Energi merupakan bidang studi yang dipilih penulis dan mengambil tugas dibidang yang sama. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Pindad Turen Malang. Selama menempuh pendidikan perguruan tinggi penulis telah mengikuti berbagai pelatihan dan berpartisipasi sebagai panitia kegiatan. Ketertarikan penulis di bidang keorganisasian, mendorongnya untuk aktif di berbagai organisasi.

LAMPIRAN 1

TABEL VISKOSITAS ABSOLUT

Fluid	Absolute Viscosity		
	($N\ s/m^2, Pa\ s$)	(<i>cp</i>)	($10^4\ lb_m/ft\ sec$)
Acetic acid	0.001155	1.155	7.76
Acetone	0.000316	0.316	2.12
Alcohol, ethyl (ethanol)	0.001095	1.095	7.36
Alcohol, methyl (methanol)	0.00056	0.56	3.76
Alcohol, propyl	0.00192	1.92	12.9
Benzene	0.000601	0.601	4.04
Bromine	0.00095	0.95	6.38
Carbon Disulfide	0.00036	0.36	2.42
Carbon Tetrachloride	0.00091	0.91	6.11
Castor Oil	0.650	650	
Castor Oil	0.650	650	
Chloroform	0.00053	0.53	3.56
Decane	0.000859	0.859	5.77
Dodecane	0.00134	1.374	9.23
Ether	0.000223	0.223	1.50
Ethylene Glycol	0.0162	16.2	109
Freon refrigerant R-11	0.00042	0.42	2.82
Glycerine	0.950	950	6380
Heptane	0.000376	0.376	2.53
Hexane	0.000297	0.297	2.00
Kerosene	0.00164	1.64	11.0
Linseed Oil	0.0331	33.1	222
Mercury	0.0015	1.53	10.3
Octane	0.00051	0.51	3.43
Phenol	0.0080	8.0	54
Propane	0.00011	0.11	0.74
Propylene	0.00009	0.09	0.60
Propylene glycol	0.042	42	
Toluene	0.000550	0.550	3.70
Turpentine	0.001375	1.375	9.24
Water, Fresh	0.00089	0.89	6.0

LAMPIRAN 1 (LANJUTAN)

TABEL THERMAL FLUID

TABLE A - 1

Molar mass, gas constant, and critical-point properties

Substance	Formula	Molar mass, <i>M</i> kg/kmol	Gas constant, <i>R</i> kJ/kg · K*	Critical-point properties		
				Temperature, K	Pressure, MPa	Volume, m ³ /kmol
Air	—	28.97	0.2870	132.5	3.77	0.0883
Ammonia	NH ₃	17.03	0.4882	405.5	11.28	0.0724
Argon	Ar	39.948	0.2081	151	4.86	0.0749
Benzene	C ₆ H ₆	78.115	0.1064	562	4.92	0.2603
Bromine	Br ₂	159.808	0.0520	584	10.34	0.1355
<i>n</i> -Butane	C ₄ H ₁₀	58.124	0.1430	425.2	3.80	0.2547
Carbon dioxide	CO ₂	44.01	0.1889	304.2	7.39	0.0943
Carbon monoxide	CO	28.011	0.2968	133	3.50	0.0930
Carbon tetrachloride	CCl ₄	153.82	0.05405	556.4	4.56	0.2759
Chlorine	Cl ₂	70.906	0.1173	417	7.71	0.1242
Chloroform	CHCl ₃	119.38	0.06964	536.6	5.47	0.2403
Dichlorodifluoromethane (R-12)	CCl ₂ F ₂	120.91	0.06876	384.7	4.01	0.2179
Dichlorofluoromethane (R-21)	CHCl ₂ F	102.92	0.08078	451.7	5.17	0.1973
Ethane	C ₂ H ₆	30.070	0.2765	305.5	4.48	0.1480
Ethyl alcohol	C ₂ H ₅ OH	46.07	0.1805	516	6.38	0.1673
Ethylene	C ₂ H ₄	28.054	0.2964	282.4	5.12	0.1242
Helium	He	4.003	2.0769	5.3	0.23	0.0578
<i>n</i> -Hexane	C ₆ H ₁₄	86.179	0.09647	507.9	3.03	0.3677
Hydrogen (normal)	H ₂	2.016	4.1240	33.3	1.30	0.0649
Krypton	Kr	83.80	0.09921	209.4	5.50	0.0924
Methane	CH ₄	16.043	0.5182	191.1	4.64	0.0993
Methyl alcohol	CH ₃ OH	32.042	0.2595	513.2	7.95	0.1180
Methyl chloride	CH ₃ Cl	50.488	0.1647	416.3	6.68	0.1430
Neon	Ne	20.183	0.4119	44.5	2.73	0.0417
Nitrogen	N ₂	28.013	0.2968	126.2	3.39	0.0899
Nitrous oxide	N ₂ O	44.013	0.1889	309.7	7.27	0.0961
Oxygen	O ₂	31.999	0.2598	154.8	5.08	0.0780
Propane	C ₃ H ₈	44.097	0.1885	370	4.26	0.1998
Propylene	C ₃ H ₆	42.081	0.1976	365	4.62	0.1810
Sulfur dioxide	SO ₂	64.063	0.1298	430.7	7.88	0.1217
Tetrafluoroethane (R-134a)	CF ₃ CH ₂ F	102.03	0.08149	374.2	4.059	0.1993
Trichlorofluoromethane (R-11)	CCl ₃ F	137.37	0.06052	471.2	4.38	0.2478
Water	H ₂ O	18.015	0.4615	647.1	22.06	0.0560
Xenon	Xe	131.30	0.06332	289.8	5.88	0.1186

*The unit kJ/kg · K is equivalent to MPa · m³/kg · K. The gas constant is calculated from $R = R_u/M$, where $R_u = 8.31447$ kJ/kmol · K and M is the molar mass.

Source: K. A. Kobe and R. E. Lynn, Jr., *Chemical Review* 52 (1953), pp. 117–236; and ASHRAE, *Handbook of Fundamentals* (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), pp. 16.4 and 36.1.

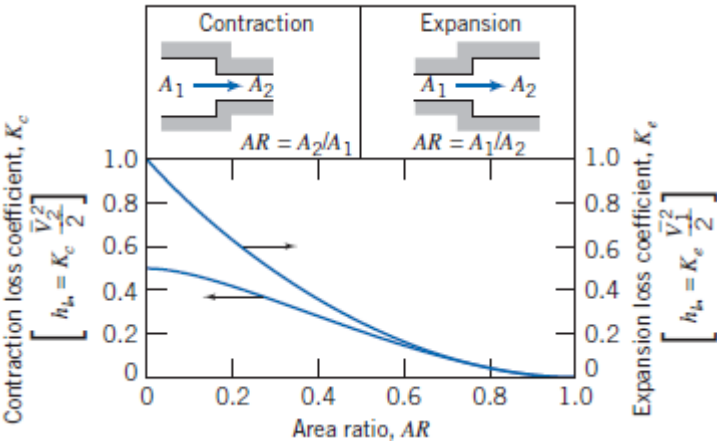
LAMPIRAN 2

TABEL A-25 THERMOCHEMICAL PROPERTIES OF
SELECTED SUBSTANCE AT 298K AND 1 ATM

Substance	Formula	Molar Mass, M (kg/kmol)	Enthalpy of Formation, \bar{h}_f° (kJ/kmol)	Gibbs Function of Formation, \bar{g}_f° (kJ/kmol)	Absolute Entropy, \bar{s}° (kJ/ kmol · K)	Heating Values	
						Higher, HHV (kJ/kg)	Lower, LHV (kJ/kg)
Carbon	C(s)	12.01	0	0	5.74	32,770	32,770
Hydrogen	H ₂ (g)	2.016	0	0	130.57	141,780	119,950
Nitrogen	N ₂ (g)	28.01	0	0	191.50	—	—
Oxygen	O ₂ (g)	32.00	0	0	205.03	—	—
Carbon monoxide	CO(g)	28.01	−110,530	−137,150	197.54	—	—
Carbon dioxide	CO ₂ (g)	44.01	−393,520	−394,380	213.69	—	—
Water	H ₂ O(g)	18.02	−241,820	−228,590	188.72	—	—
Water	H ₂ O(l)	18.02	−285,830	−237,180	69.95	—	—
Hydrogen peroxide	H ₂ O ₂ (g)	34.02	−136,310	−105,600	232.63	—	—
Ammonia	NH ₃ (g)	17.03	−46,190	−16,590	192.33	—	—
Oxygen	O(g)	16.00	249,170	231,770	160.95	—	—
Hydrogen	H(g)	1.008	218,000	203,290	114.61	—	—
Nitrogen	N(g)	14.01	472,680	455,510	153.19	—	—
Hydroxyl	OH(g)	17.01	39,460	34,280	183.75	—	—
Methane	CH ₄ (g)	16.04	−74,850	−50,790	186.16	55,510	50,020
Acetylene	C ₂ H ₂ (g)	26.04	226,730	209,170	200.85	49,910	48,220
Ethylene	C ₂ H ₄ (g)	28.05	52,280	68,120	219.83	50,300	47,160
Ethane	C ₂ H ₆ (g)	30.07	−84,680	−32,890	229.49	51,870	47,480
Propylene	C ₃ H ₆ (g)	42.08	20,410	62,720	266.94	48,920	45,780
Propane	C ₃ H ₈ (g)	44.09	−103,850	−23,490	269.91	50,350	46,360
Butane	C ₄ H ₁₀ (g)	58.12	−126,150	−15,710	310.03	49,500	45,720
Pentane	C ₅ H ₁₂ (g)	72.15	−146,440	−8,200	348.40	49,010	45,350
Octane	C ₈ H ₁₈ (g)	114.22	−208,450	17,320	463.67	48,260	44,790
Octane	C ₈ H ₁₈ (l)	114.22	−249,910	6,610	360.79	47,900	44,430
Benzene	C ₆ H ₆ (g)	78.11	82,930	129,660	269.20	42,270	40,580
Methanol	CH ₃ OH(g)	32.04	−200,890	−162,140	239.70	23,850	21,110
Methanol	CH ₃ OH(l)	32.04	−238,810	−166,290	126.80	22,670	19,920
Ethanol	C ₂ H ₅ OH(g)	46.07	−235,310	−168,570	282.59	30,590	27,720
Ethanol	C ₂ H ₅ OH(l)	46.07	−277,690	−174,890	160.70	29,670	26,800

Source: Based on JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971; *Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties*, NBS Tech. Note 270-3, 1968; and *API Research Project 44*, Carnegie Press, 1953. Heating values calculated.

LAMPIRAN 3 LOSS COEFFICIENTS FOR FLOW THROUGH SUDDEN AREA CHANGE



PERHITUNGAN TEORITIK MOTOR 4 LANGKAH 1 SILINDER DIOPERASIKAN DENGAN LPG

Ruso Mahesa*

Abstract

The depletion of world oil reserves, the need for replacement of conventional fuels is also increasing. And also getting sued manufacturers producing fuel to push the quality of its products to be more efficient and environmentally friendly. So one solution is to use fuel alternatives LPG (Liquid Petroleum Gas).

In order to use LPG fuel, the gasoline engine to be modified. By adding a venturi mixer. From previous studies appropriate mixer is a venturi mixer. Venturi mixer as a mechanism of mixing between air and fuel is placed between the intake manifold and carburetor, to enter into the cylinder.

The result of theoretical calculation at 3000 rpm are : generate power 5299.25 J/S, Bmep 2119,7 KPa, torque 16,876 Nm, BSFC 0,000306 kg/Wh. While the result experiment at 3000 rpm are : generate power 1062.5 j/s, Bmep 425 KPa, torque 3.35 Nm, and BSFC 0.0026 kg/wh.

Keyword : performance, ventury mixer, LPG fuel.

PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan salah satu sumber energi yang sangat populer dalam hal sumber bahan bakar yang dikarenakan tingkat kegunaannya yang cukup tinggi, namun bahan bakar yang diperoleh dari minyak fosil ini juga membawa dampak buruk yang tidak sedikit bagi lingkungan sekitar. Dikarenakan masalah itu, pada saat ini masyarakat global tengah meyerukan dampak yang berbahaya ke lingkungan dari bahan bakar ini. Tak sedikit pula masyarakat yang berlomba-lomba mencari pengganti dari bahan bakar ini, yang lebih ramah lingkungan dan bersifat renewable atau terbarukan. Salah satu bahan bakar pengganti tersebut ialah LPG (Liquid Petroleum Gas) yang merupakan bahan bakar yang berasal dari gas bumi dimana dapat diketahui di Indonesia cadangan gas bumi cukup melimpah

Sebagai upaya langkah untuk meningkatkan penggunaan bahan bakar LPG adalah dengan pengembangan teknologi mesin konversi energi, misalnya melalui kajian modifikasi suatu mesin stasioner sebagai pembangkit daya. Dalam pengoptimalan sumber daya terbarukan ini, penggunaan energi bahan bakar gas LPG (*Liquid Petroleum Gas*) pada motor bakar dirasa masih kurang dan belum dapat digunakan secara merata. Umumnya motor bakar seperti mesin genset masih banyak menggunakan bahan bakar minyak (BBM), yakni menggunakan bahan bakar bensin. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai mesin genset yang berbahan bakar bensin untuk dimodifikasi menggunakan bahan bakar LPG

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas mengenai modifikasi genset motor

bensin empat langkah menjadi enset dengan bahan bakar LPG. Untuk mengubah motor bensin ke motor bahan bakar LPG diperlukan beberapa perubahan. Penambahan komponen yang dibutuhkan adalah mixer venturi. Mixer venturi sebagai mekanisme pencampuran antara udara dan bahan bakar yang diletakkan diantara intake manifold dan karbulator, untuk masuk ke dalam silinder

Dalam penelitian berikutnya ini dilakukan perhitungan pada nilai-nilai yang menjadi parameter unjuk kerja generator motor seperti efficiency, fuel consumption dan flow rate dari mesin. Metode pengujian menggunakan uji konstan speed terhadap performa genset mesin empat langkah menggunakan bahan bakar gas LPG, serta melakukan pengembangan dalam hal mekanisme pemasukan dan pencampuran antara udara dan gas dengan penambahan *mixer ventury*.

Pada tugas akhir ini akan dibahas perhitungan teoritis unjuk kerja antara genset mesin bensin empat langkah satu silinder menggunakan bahan bakar gas LPG, serta analisis terhadap Brake Horse Power yang dihasilkan.

b. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui unjuk kerja genset motor bakar empat langkah jika akan dioperasikan dengan bahan bakar LPG.

c. Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu meluas, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut :

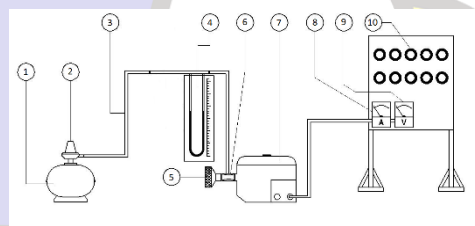
1. Pengujian dan perhitungan dilakukan pada genset motor bensin 4 langkah 1 silinder merk Vorex seri V1500 1000 watt, volume silinder 100 CC menggunakan karburator

sebagai penyalur pasokan udara dan mixer venturi sebagai alat percampuran bahan bakar LPG dengan udara. Bahan bakar gas lpg yang digunakan adalah gas LPG 3 kg yang diproduksi pertamina

2. Kondisi temperatur udara sekitar dianggap ideal
3. Efisiensi teoritis dianggap 25 %
4. Rpm pada perhitungan teoritis adalah 3000
5. Excess air dari LPG 10 %
6. Mixer venturi tidak diuji secara khusus, tapi diuji secara langsung pada genset.
7. Data diambil pada beban berupa lampu, @ lampu = 100 Watt.
8. Tidak melakukan analisa pelumasan.

METODOLOGI

Metode yang dilakukan dengan cara membandingkan parameter unjuk kerja penggunaan bahan bakar Gas LPG secara actual dengan teoritis dengan metode uji konstan speed terhadap perbandingan laju aliran massa dan beban lampu



Gambar 1. Skema peralatan pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin bensin Mesin generator Vorex V 1500 4 langkah 1 silinder dan menaikkan putaran mesin hingga mesin mencapai putaran tertentu kemudian generator dinyalakan dan diberikan pembebanan lampu hingga pembebanan maksimal yang dapat dicapai oleh mesin. Kemudian pada tiap pembebanan; mulai dari beban awal hingga beban maksimal diukur tegangan dan arus output dari generator dan ketinggian dari delta H manometer U.

Setelah dilakukan pengujian maka akan didapatkan laju aliran massa (*mass flow rate*) sehingga akan didapatkan nilai efisiensi yang akan dibandingkan.

PERHITUNGAN

Dalam perhitungan untuk mendapatkan nilai laju aliran massa (\dot{m}), digunakan persamaan:

$$\dot{m} = Q \times \rho_{lpg}$$

Keterangan:

Q = Kapasitas laju aliran fluida gas LPG ($\frac{m}{s}$)

ρ_{lpg} = Laju aliran massa gas LPG ($\frac{kg}{m^3}$)

Persamaan diatas menerangkan tentang laju aliran massa yang didapatkan tiap pembebanan, sehingga dapat digunakan untuk mendapatkan nilai unjuk kerja motor pada tiap pembebanan dengan persamaan:

$$P = \frac{VI}{\cos \phi}$$

$$BHP = \frac{P}{\eta_g \cdot \eta_{kopling}}$$

$$Torsi = \frac{60 \times BHP}{2 \times \pi \times n} (Nm)$$

$$BMEP = \frac{BHP}{V_{sil} \times n \times a \times z}$$

$$BSFC = \frac{\dot{m}}{BHP}$$

Dimana

P = daya generator (Watt)

V = tegangan (Volt)

I = kuat arus (Ampere)

$\cos \phi = 0.8$

efisiensi kopling = 1

efisiensi generator = 0.88

BHP = Brake Horse Power (Watt)

n = Putaran mesin (rpm)

= 3063 (rpm)

a = $\frac{1}{2}$ siklus (motor 4-langkah)

V_{sil} = Volume silinder (m^3)

$$= 100 \text{ cm}^3 \times \frac{10^{-6} m^3}{cm^3}$$

$$= 100 \times 10^{-6} m^3$$

z = 1 silinder

\dot{m} = konsumsi bahan bakar per waktu ($\frac{kg}{jam}$)

Untuk perhitungan teoritis nya didapat di itung melalui reaksi stokiometri dengan rumus
 $C_nH_m + n+m/4(O_2 + 3,76 N_2) \Rightarrow nCO_2 + m/2H_2O + 3.76(n+m/4)N_2$

Dari rumus stokiometri dapat kita mengetahui AFR dengan rumus

$$AFR = \frac{X_{udara}}{X_{bahanbakar}} \times \frac{M_{udara}}{M_{bahanbakar}}$$

Setelah menghitung AFR dapat kita hitung laju aliran udara dengan rumus

$$\dot{m} = q \times \rho$$

Dimana

\dot{m}_{air} = laju udara teoritis kg/s
 q = kapasitas m^3/s
 ρ = massa jenis udara kg/m^3

Setelah itu kita dapat menghitung laju aliran bahan bakar dengan rumus

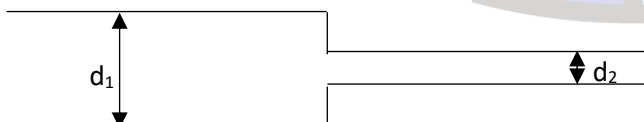
$$\dot{m}_{bb} = \frac{\dot{m}_{air}}{AFR}$$

Dimana

\dot{m}_{bb} = laju bahan bakar teoritis kg/s
 \dot{m}_{air} = laju udara teoritis kg/s
 AFR = air fuel rasio teoritis

Untuk menghitung diameter nozzle dapat di itung dengan rumus

a. Persamaan rumus bernoulli



$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z + K_c \frac{V_1^2}{2g}$$

Dimana :

P_1 = tekanan regulator (Pa)

P_2 = tekanan inlet manifold (Pa)

V_1 = kecepatan bahan bakar di selang LPG(m/s)

V_2 = kecepatan bahan bakar di nozzle mixture (m/s)

γ = berat jenis bahan bakar (kg/m^2s^2)

Z = ketinggian (m)

K_c = koefisien kontraksi

G = gravitasi bumi (m/s)

Dari rumus di atas di ketahu bahwa ketinggian dalam perhitungan kali ini sama sehingga dapat di abaikan sedangkan $\gamma = \rho g$ jadi persamaan tersebut bisa menjadi perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{P_1 + P_2}{\rho g} + (1 - k) \frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g}$$

Luasan Nozzle

Setelah kecepatan V_2 diketahui kita bisa mencari luasan nozzle dengan rumus sebagai berikut

$$A_2 = \frac{A_1 \times V_1}{V_2}$$

Diameter Nozzle

Setelah kita mengetahui luasan dari nozzle kita bias mencari diameter nozzle dengan rumus sebaga berikut

$$d = \sqrt{\frac{A}{0,25 \times 3,14}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan di kampus Laboratorium Motor Bakar D3 Teknik Mesin ITS. Dari hasil pengujian didapatkan data laju aliran massa (\dot{m}) dan untuk variasai putaran 3000 rpm dan bahan bakar:

Table 1.Laju aliran massa bakar gas LPG dengan variasi putaran konstan speed 3000 rpm

Lampu	Laju Aliran Massa Gas LPG (Kg/Jam)
-------	------------------------------------

	Rpm 3000
1	1.253
2	1.535
3	1.772
4	1.772
5	1.981
6	2.171
7	2.344
8	2.506
9	2.658
10	2.802

Dari data di atas di dapatkan hasil unjuk kerja secara actual sebagai berikut

Table 2. Data perhitungan unjuk kerja gas LPG dengan konstan speed 3000 rpm dari beban 1- 10 lampu

Daya Generator	BHP	BSFC	BMEP	TORSI
(watt)	(watt)	(Kg/jam)	(Pa)	(Nm)
28	31.25	0.0401	13	0.10
83	93.75	0.0163	38	0.29
165	187.5	0.0094	75	0.58
275	312.5	0.0056	125	0.98
385	437.5	0.0045	175	1.37
495	562.5	0.0038	225	1.76
633	718.75	0.0032	288	2.25
743	843.75	0.0029	338	2.66
853	968.75	0.0027	388	3.07
935	1062.5	0.0026	425	3.35

Sedangkan secara teoritis di dapat kan hasil daya motor sebesar 5299.25 J/S, Bmep sebesar 588,805 Pa, Torsi sebesar 16,876 Nm, BSFC sebesar 0,000306 kg/Wh

Untuk diameter nozzle agar hasil actual sama dengan unjuk kerja teoritis di butuh kan diameter sebesar 0,664 mm

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Bahan bakar LPG secara teoritis dengan rpm 3000 memiliki nilai unjuk kerja untuk daya motor sebesar 5299.25 J/S, Bmep sebesar 588,805 Pa, Torsi sebesar 16,876 Nm, BSFC sebesar 0,000306 kg/Wh. Sedangkan bahan bakar LPG secara actual dengan rpm 3000 memiliki nilai unjuk kerja terbaik dengan daya motor 1062.5 j/s, Bmep dengan nilai sebesar 425 Pa, torsi dengan nilai sebesar 3.35 Nm, dan bsfc sebesar 0.0026 kg/wh. Untuk mencapai nilai actual ang sesuai dengan teoritis di perlukan diameter nozzle ventury mixture sebesar 0,664 mm

Saran

Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai Bahan bakar gas jenis LPG ini. Perlu adanya alat penunjang penambah tekanan pada LPG saat masuk ruang bakar. Menaikkan tegangan pengapian. Mempertahankan karburator untuk starting awal menggunakan bahan bakar bensin.

DAFTAR PUSTAKA

Andriansyah, Ahmad Ryan, 2011, Rancang Bangun Mixer Untuk Memodifikasi Genset 4 langkah 1 Silinder Berbahan Bakar Bensin dan Biogas Dengan Tingkat Kemurnian 70%, Tugas Akhir D3 Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Arismunandar, Wiranto, 2002, Penggerak Mula Motor Bakar Torak, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.

Burhanudin, Tulus, 2002, Tinjauan Pengembangan Bahan Bakar Gas Sebagai Bahan Bakar Alternatif, Fakultas Teknik. Universitas Sumatera Utara, Indonesia.

Fox, Robert W., 2003, Introduction to Fluid Mechanics, sixth edition, United State of America.

Ganesan, V., 2003, Internal Combustion Engines, Second edition : Tata McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi, India.

Mustadi, Lalu, 1998, Upaya Peningkatan Prestasi Engine Melalui Modifikasi Saluran Bahan Bakar Gas Pada Ventury Mixer, Universitas Indonesia.

Micheal J.Moran and Howard N.Shapiro 2006, Fundamentals of Engineering Thermodynamics 5th edition





PRESENTASI TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN TEORITIK KINERJA MOTOR 4 LANGKAH 1 SILINDER DIOPERASIKAN DENGAN BAHAN BAKAR LPG

Ruso Mahesa
NRP : 2113 030 025

Pembimbing:
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



PENDAHULUAN

Latar Belakang

1. Bahan Bakar konvensional (bensin) merupakan *non renewable fuel*.
2. Dampak buruk bagi lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil.
3. Inovasi terkait pengganti bahan bakar fosil oleh bahan bakar alternatif fosil seperti gas (LPG) masih terus diteliti.



PENDAHULUAN

Perumusan Masalah

- Bagaimana kinerja genset empat langkah ketika menggunakan bahan LPG

Tujuan Penelitian

- ▶ Untuk mengetahui kinerja genset motor bakar empat langkah jika akan di operasikan dengan bahan bakar LPG.



PENDAHULUAN

Batasan Masalah

- Pengujian dan perhitungan dilakukan pada genset motor bensin 4 langkah 1 silinder merk Vorex seri V1500 1000 watt, volume silinder 100 CC menggunakan karburator sebagai penyalur pasokan udara dan mixer venturi sebagai alat percampuran bahan bakar LPG dengan udara. Bahan bakar gas lpg yang digunakan adalah gas LPG 3 kg yang diproduksi Pertamina
- Kondisi temperatur udara sekitar dianggap ideal
- Efisiensi teoritis dianggap 25 %
- Rpm pada perhitungan teoritis adalah 3000
- Excess air dari LPG 10 %
- Mixer venturi tidak diuji secara khusus, tapi diuji secara langsung pada genset.
- Data diambil pada beban berupa lampu, @ lampu = 100 Watt.
- Tidak melakukan analisa pelumasan.



PENDAHULUAN

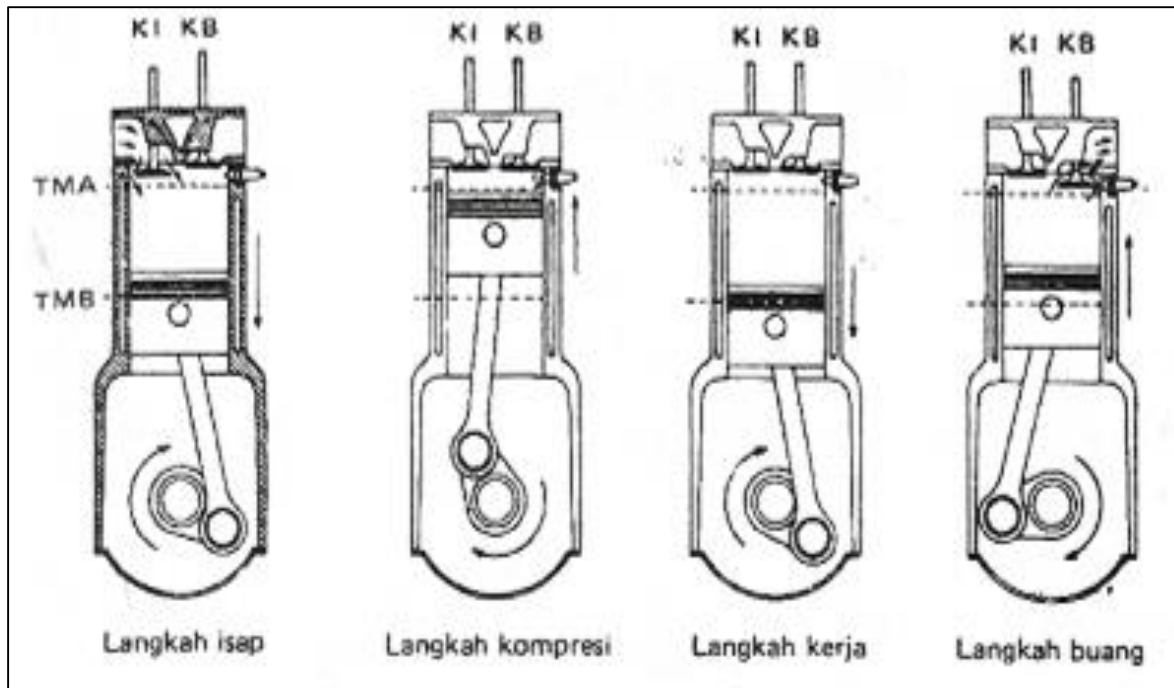
Manfaat Penelitian

- Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumbangan bagi ilmu pengetahuan serta dapat memberi informasi dan inspirasi kepada masyarakat umum tentang bahan gas LPG pada mesin genset ditinjau dari parameter unjuk kerjanya.



DASAR TEORI

Proses Kerja Mesin Bensin



1. Langkah hisap

Pembukaan katup hisap pada langkah hisap dimulai sekitar 10 derajat sudut engkol sebelum piston mencapai TMA sehingga tepat ketika piston memulai langkah hisap katup masuk sudah terbuka penuh. Sedangkan penutupan dilakukan setelah piston melewati TMB.

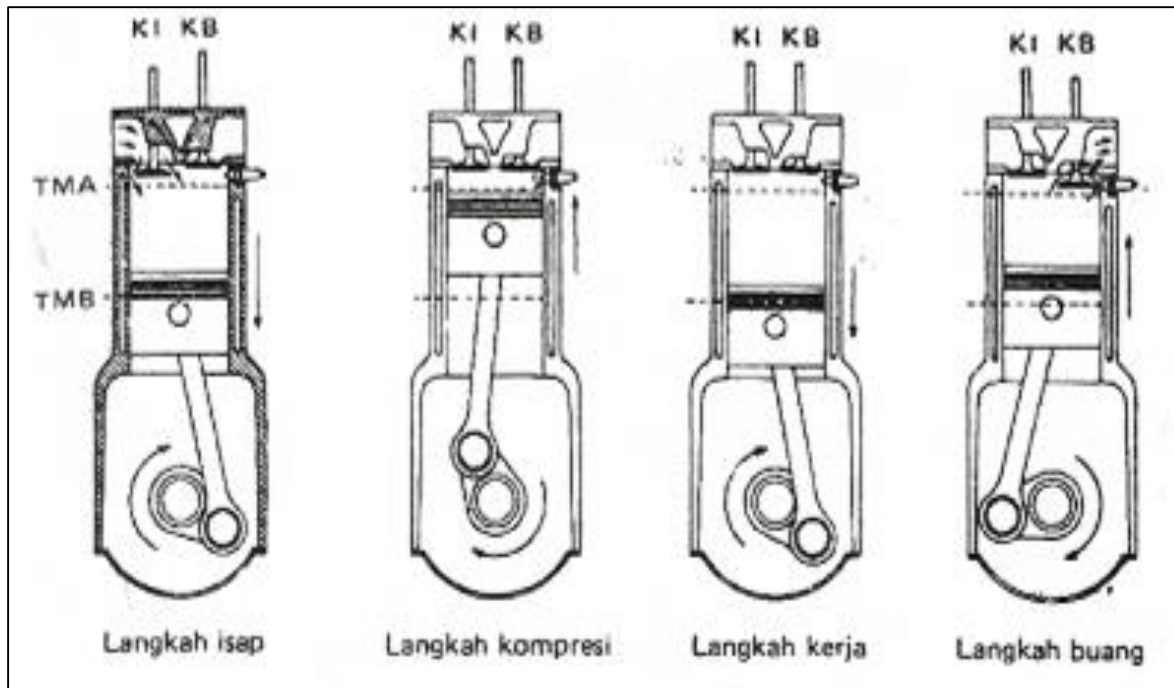
2. Langkah kompresi

Langkah kompresi dimulai ketika TMB sampai piston mencapai TMA, namun kenaikan tekanan maksimum dicapai setelah melewati TMA.



DASAR TEORI

Proses Kerja Mesin Bensin



3. Langkah ekspansi

Proses pemanfaatan tenaga gas yang berlangsung pada langkah ekspansi ini dalam kenyataan lebih pendek dari idealnya, karena sudah harus berakhir sebelum piston mencapai TMB.

4. Langkah pembuangan

Proses pembuangan gas hasil pembakaran ini disebabkan tekanan gas didalam silinder pada akhir langkah kerja masih lebih tinggi dari tekanan diluar silinder.



DASAR TEORI

Liquefied Petroleum Gas (LPG)

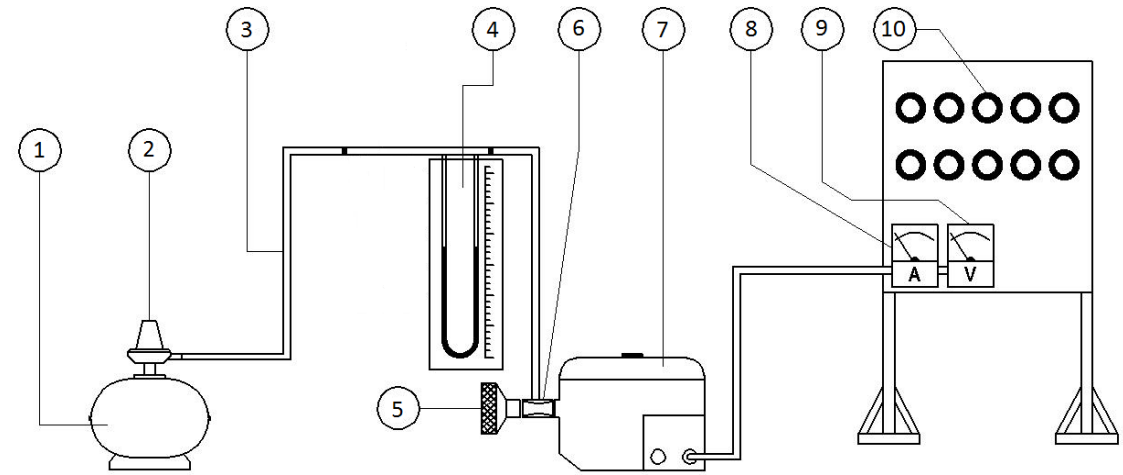


LPG atau *Liquefied Petroleum Gas* dengan merk dagang ELPIJI merupakan gas cair yang ditabungkan hasil produksi dari kilang minyak dan kilang gas, yang berasal dari gas alam sebagai hasil penyulingan minyak mentah, berbentuk gas. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas kemudian berubah menjadi cair. LPG terdiri dari campuran berbagai unsur hidrokarbon, komponennya didominasi 50 % propana (C_3H_8) dan 50% butana (C_4H_{10}).



Metode Penelitian

Skema Instalasi Percobaan



Keterangan Gambar

1. Tabung Gas LPG
2. Regulator Gas LPG
3. Selang bahan bakar
4. Pitotlow meter
5. Filter (saringan)
6. Mixer
7. Genset Motor bensin
8. Ampere meter
9. Volt meter
10. Lampu beban (10 lampu)



Peralatan penelitian



Merk : Vorex
Type : V 1500
Volume silinder : 100 cc
Putaran idle 4K : 1.000 rpm
Putaran tinggi : 3.500 rpm



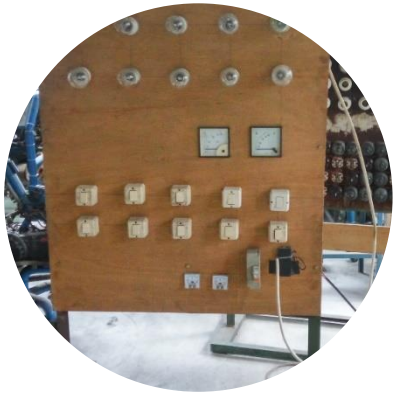
- Katup bukaan udara



- Regulator tekanan LPG



Peralatan penelitian



- Lampu Beban



- Mixer Venturi



- Pitot Flow meter



Persiapan dan Pengujian





Persiapan dan Pengujian





Diagram Alir Percobaan

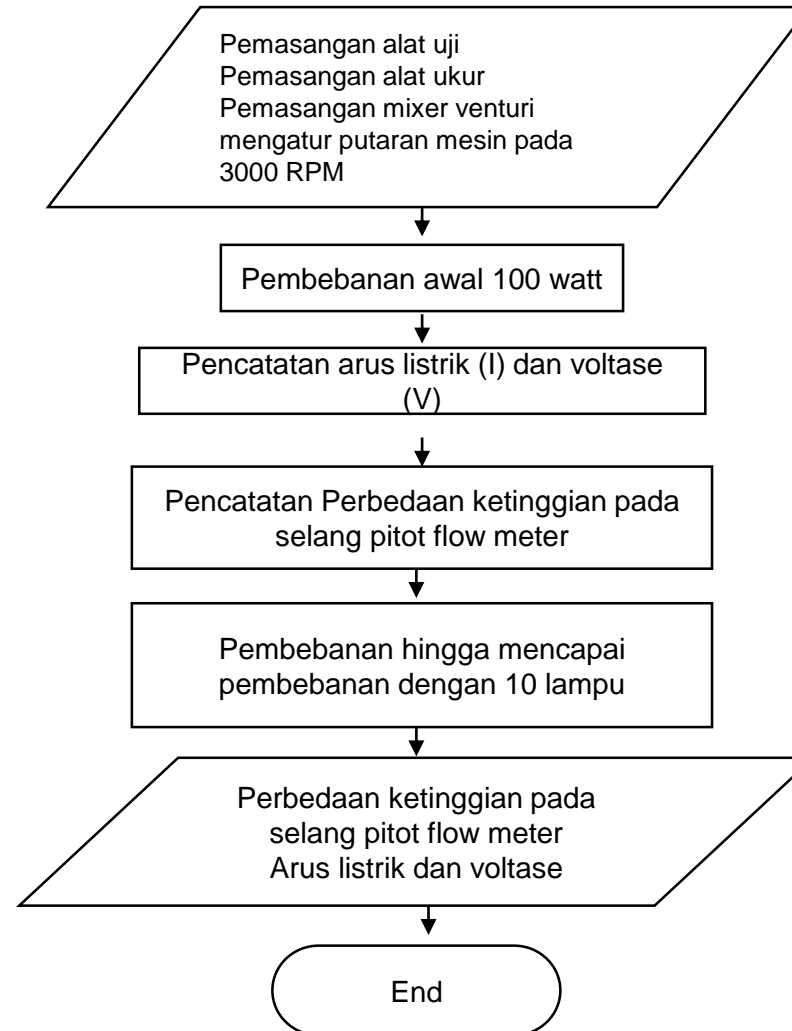




Diagram Alir perhitungan teoritis

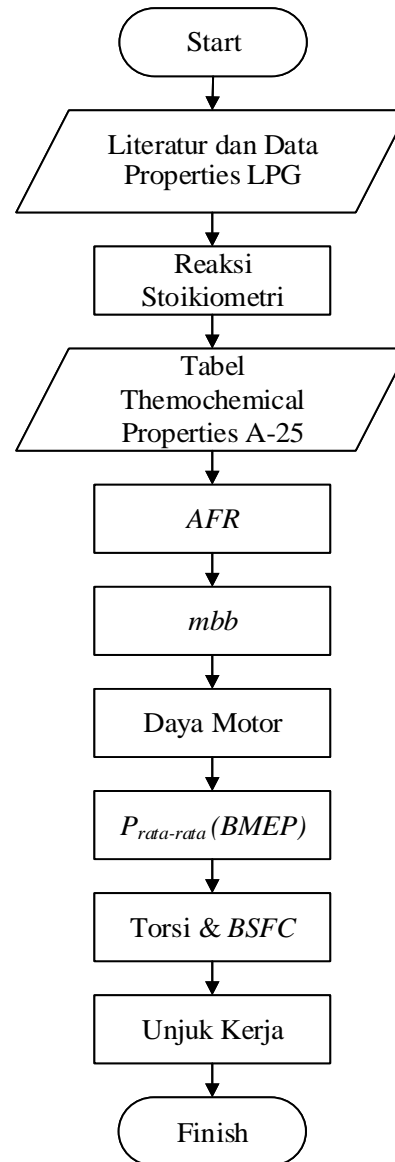
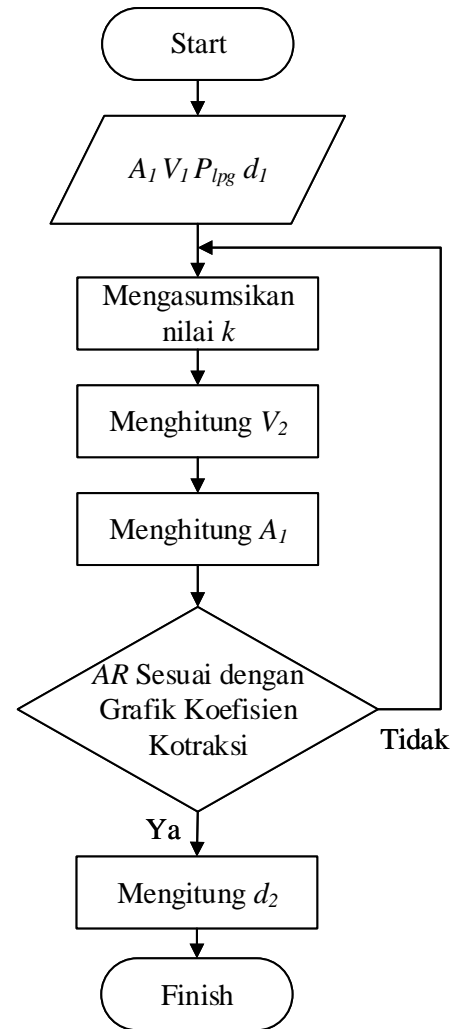




Diagram Alir perencanaan diameter mixture





PEMBAHASAN

Tabel Hasil Perhitungan

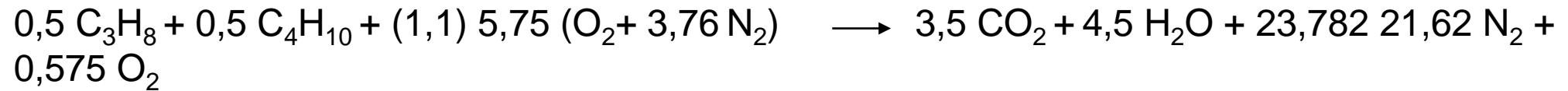
Data Perhitungan percobaan pada bahan bakar
LPG pada putaran mesin 3000 RPM

lampu	Daya Generator	BHP	BSFC	BMEP	TORSI	Effisiensi
	(watt)	(watt)	(Kg/jam)	(KPa)	(Nm)	(%)
1	28	31.25	0,04010	13	0.10	0.19
2	83	93.75	0,01637	38	0.29	0.47
3	165	187.5	0,00945	75	0.58	0.81
4	275	312.5	0,00567	125	0.98	1.35
5	385	437.5	0,00453	175	1.37	1.69
6	495	562.5	0,00386	225	1.76	1.98
7	633	718.75	0,00326	288	2.25	2.35
8	743	843.75	0,00297	338	2.66	2.58
9	853	968.75	0,00274	388	3.07	2.79
10	935	1062.5	0,00264	425	3.35	2.90



Hasil perhitungan teoritis

- Reaksi Stokiometri



AFR

Untuk mencari AFR secara teoritis dapat di cari dengan rumus sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{AFR} &= \frac{\chi_{\text{udara}} \bar{M}_{\text{udara}}}{\chi_{\text{bahan bakar}} \bar{M}_{\text{bahan bakar}}} \\ &= 17,06 \frac{\text{Kg (udara)}}{\text{Kg (bahan bakar)}} \end{aligned}$$



a. Menghitung laju udara teoritis

Untuk menghitung laju udara dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut

$$\dot{m} = q \times \rho$$

Sehingga

$$\dot{m}_{\text{air}} = 0,00771 \text{ kg/s}$$

b. Menghitung laju bahan bakar teoritis

Untuk menghitung laju bahan bakar teoritis dapat di hitung dengan rumus sabagai berikut

$$\dot{m}_{\text{bb}} = \frac{\dot{m}_{\text{air}}}{AFR}$$

Sehingga:

$$\dot{m}_{\text{bb}} = \frac{0,00771 \text{ kg / s}}{17,06} = 0,000451 \text{ kg/s}$$



c. Menghitung daya motor pada rpm 3000 (BHP)

Untuk menghitung daya motor dapat dihitung melalui rumus sebagai berikut

$$N = \text{efisiensi} \times \dot{m} \times \text{lhv}$$

Sehingga:

$$N = 5299.25 \text{ J/S}$$

d. Menghitung $P_{\text{rata rata}}$ (Bmep)

Untuk menghitung daya $P_{\text{rata rata}}$ dapat dihitung melalui rumus sebagai berikut

$$Bmep = \frac{BHP}{V_{sil} \cdot a.n.z}$$

Sehingga:

$$Bmep = 2119,7 \text{ Kpa}$$



e. Menghitung Torsi pada rpm 3000 secara teoritis

Untuk menghitung torsi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Torsi} = \frac{60 \times N}{2 \times \pi \times n} (Nm)$$

$$\text{Torsi} = 16,876 Nm$$

f. Menghitung BSFC pada rpm 3000 secara teoritis

Untuk menghitung pemakaian bahan bakar spesifik digunakan persamaan sebagai berikut :

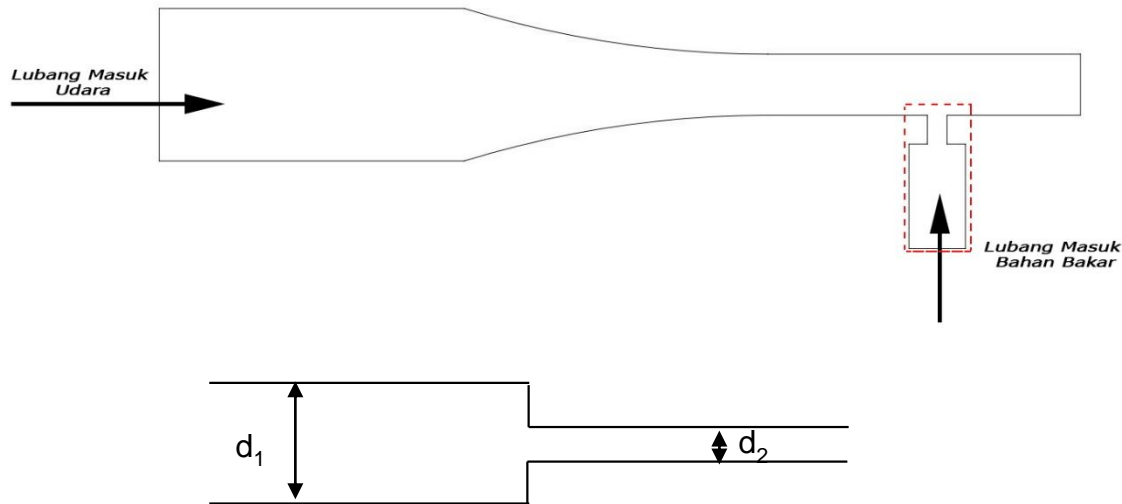
$$\text{BSFC} = \frac{\dot{m}}{N}$$

$$\text{BSFC} = 0,000306 \frac{kg}{Wh}$$



Hasil perhitungan perencanaan diameter nozzle mixture

Perhitungan diameter nozzle mixture



$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z + K_c \frac{V_1^2}{2g}$$

Dimana :

P_1 = tekanan regulator (Pa)

P_2 = tekanan inlet manifold (Pa)

V_1 = kecepatan bahan bakar di selang LPG (m/s)

V_2 = kecepatan bahan bakar di nozzle mixture (m/s)

γ = berat jenis bahan bakar (kg/m^3)

Z = ketinggian (m)

K_c = koefisien kontraksi

g = gravitasi bumi (m/s²)

Dari rumus di samping diketahui bahwa ketinggian dalam perhitungan kali ini sama sehingga dapat diabaikan sedangkan

$$\gamma = \rho g$$

jadi persamaan tersebut bisa menjadi perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} + (1 - k) \frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g}$$

Dari metode literasi didapat kan $K_c = 0,48$ dengan perbandingan $AR = 0,024$ sehingga

$$V_2 = 165,393 \text{ m/s}$$

Setelah diketahui nilai V_2 kita dapat mencari luasan nozzle dengan perhitungan sebagai berikut :

$$A_2 = \frac{A_1 \times V_1}{V_2}$$

Sehingga

$$A_2 = 0,000000347 \text{ m}^2$$

Setelah kita mengetahui luasan dari nozzle kita bisa mencari diameter nozzle dengan perhitungan sebagai berikut :

$$d = \sqrt{\frac{A}{0,25 \times 3,14}} \times 1000 = 0,664 \text{ mm}$$

Setelah diketahui nilai V_2 kita dapat mencari luasan nozzle dengan perhitungan sebagai berikut :

$$A = \frac{q}{V_2} = \frac{0,000205 \text{ m}^3/\text{s}}{218,190 \text{ m/s}} = 1.357 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Setelah kita mengetahui luasan dari nozzle kita bisa mencari diameter nozzle dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{A}{0,25 \times 3,14}} \times 1000 \\ &= \sqrt{\frac{1,357 \times 10^{-6}}{0,25 \times 3,14}} \times 1000 = 1,202 \text{ mm} \end{aligned}$$



KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

	actual	teoritis
Daya	1062.5 watt	5299,25 watt
Bmep	425 Kpa	2119,7 Kpa
Torsi	3,35 Nm	16,876 Nm
bsfc	0,00264 kg/wh	0,0003063 kg/wh

Dari hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan untuk memperoleh unjuk kerja mesin genset yang sesuai dengan teoritis di perlukan perubahan pada diameter nozzle pada ventury mixture yaitu sebesar 0.664mm



**TERIMA KASIH
MOHON
SARANNYA**